



REC'D 24 APR 2003

WIPO

PCT

**BEST AVAILABLE COPY**

20 AUG 2004

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 07 610.3

**Anmeldetag:** 22. Februar 2002

**Anmelder/Inhaber:** Prof. Dr. Rudolf S c h w a r t e , Netphen/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung elektrischer und optischer Signale

**IPC:** G 01 S, H 04 B, H 04 J

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. März 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

**Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung elektrischer und optischer Signale****Beschreibung**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein **Verfahren** zur wechselseitigen Erfassung, Verknüpfung und Verarbeitung elektrischer und optischer Signale nach dem **Oberbegriff des Patentanspruchs 1** und eine **Vorrichtung** zur Durchführung des Verfahrens.

Das breite Spektrum elektromagnetischer, insbesondere optischer Technologien und Verfahren zur Gewinnung, Verarbeitung und Übertragung von Informationen besitzt zusammen mit den mikroelektronischen und mikrooptischen Technologien eine Schlüsselfunktion in der Forschung, Entwicklung und Produktion und eine wachsende Bedeutung im internationalen wirtschaftlichen Wettbewerb.

Daher spielen die unmittelbare Verarbeitung und Verknüpfung von Strahlungssignalen - insbesondere optischen Signalen - mit elektrischen Signalen, z.B. opto-elektronischen (OE) Schnittstellen-Komponenten zwischen optischen und elektrischen Technologien und Systemen, den OE-Wandlern als Empfängern und den EO-Wandlern als Sendern (z.B. Laserdioden), aber auch optischen Signalen untereinander, eine hervorragende Rolle.

Bei einer IRDA-Schnittstelle oder bei einem konventionellen Laserradar z.B. wird die Summe optischer Signalwellen zunächst ohne Bewertung ihrer Modulation bzw. Codierung in ein dem zugehörigen Photostrom entsprechendes elektrisches Signal umgewandelt. Die nicht erwünschten Signalanteile führen zu erheblichen Störungen. Dieser Prozess nutzt nicht die Möglichkeit einer gleichzeitigen intelligenten Vorselektion des gewünschten Signals durch Auswahl der gesuchten oder erwarteten Information nach Zeit und Codierung bzw. Modulation während der Detektion.

Die beeindruckenden Erfolge und großen Vorteile der optischen Informationsverarbeitung könnten wesentlich besser genutzt und erweitert werden durch ein entsprechendes vielseitiges und intelligentes Verfahren zur optoelektronischen Erfassung, Verarbeitung und Übertragung mit neuen Möglichkeiten zur direkten inhärenten digitalen und analogen Signalverarbeitung der eintreffenden optischen Signalwelle mit elektrischen Signalen oder anderen optischen Signalen, das zudem mikroelektronisch und mikrooptisch integriert in Form

von OE-Interface-Komponenten bzw. OE-Prozessor-Komponenten kostengünstig durchführbar ist.

**Aufgabe der Erfindung** ist also die Implementierung der ersten Signalverarbeitungsschritte unmittelbar in den Detektionsprozess eines neuartigen opto-elektronischen Empfängers, der zugleich die hohen Anforderungen nach mikroelektronischer Integration, hoher Bandbreite und Geschwindigkeit und niedrigen Kosten erfüllen soll.

Ein wichtiger Fortschritt in dieser Richtung war die Entwicklung des Photomischdetektors PMD (Photonic Mixer Device), der eine Gegentak-Multiplikation und -Korrelation der optischen Signalwelle mit einem elektrischen Gegentaksignal liefert und eine hohe Rausch- und Hintergrundlicht-Unterdrückung und wesentliche Vereinfachung und Verbesserung von Zeitmessungen erzielt. Diese OE-Komponente mit inhärenter Signalverarbeitung wird erstmals in den Anmeldungen DE 196 35 932.5 und DE 198 21974.1 ausgeführt.

Der Stand der Technik für diese inhärente Vorverarbeitung optischer Signalwellen wird z.B. in „Handbook of Computer Vision and Applications“, Volume 1, Sensors and Imaging, edited by Jähne et al., Academic Press, auf S. 463ff, ferner in Dutzenden von Veröffentlichungen über Anwendungen als Laserradar, 3D-Kamera und OE-Schnittstelle für die Kommunikation, z.B. auf der Homepage des Instituts für Nachrichtenverarbeitung der Uni Siegen, beschrieben. Das PMD ist relativ unflexibel und weist keine Zeitselektion auf.

Benötigt wird eine neue vielseitige OE-Komponente zur Erweiterung der OE-Signalverarbeitung und der Verknüpfungsfunktionen über die Funktionalität des PMD hinaus, z.B. eine elektrische Ein- und Abschaltung des Detektors, wie für Zeitmultiplexanwendungen unerlässlich, ferner eine Erhöhung der Bandbreite des EO-Mischers von DC bis in den GHz-Bereich, Verbesserung und Vereinfachung der Hintergrundlicht-Unterdrückung, die Realisierung schneller optisch-elektrischer und optisch-optischer Gatterfunktionen mit der entsprechenden Basisbandfähigkeit, sowie die Integration räumlich verteilter Verarbeitungsfunktionen, z.B. Parallelkommunikation und dynamische 3D-Messungen in der Raum-Zeit und im Ortsfrequenzbereich für laterale Geschwindigkeitsmessungen. Die neue gesuchte OE-Komponente sollte für Anwendungen im Kommunikationsbereich, z.B. für die CDMA/TDMA-Freiraumübertragung, in der optischen Vernetzung einer sog. Optical Backplane anstelle der Multi Layer Backplane und in Polymer-Fasernetzwerken, eine

Bitrate von 1 Gb/s bei gleichzeitig hoher Empfindlichkeit und hohem Füllgrad aufweisen. Diese Wunschliste wird heute von keinem bekannten Bauelement auch nur annähernd erfüllt.

Dieser Erfindung liegt im Einzelnen also die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art mit derartig verbesserten und funktionell erweiterten Eigenschaften gegenüber dem Stand der Technik anzugeben und derartige Lösungen z.B. für schnelle OE-Gatter, OE-Analogschalter, OE-Sampler, OE-Analog-Digital-Umsetzer, OE-Multiplexer und -Demultiplexer, 3D-Kameras auf OEP-Array-Basis kombiniert nach dem Laufzeitprinzip, Triangulationsprinzip und der Doppler verschobenen Ortsfrequenzanalyse, für vielkanalige und kostengünstige OE-Router (Optical Cross-Connect), hochempfindliche und schnelle Mischer und Korrelatoren vorzuschlagen. Weiterhin ist wünschenswert, die Anwendungsbereiche und das Spektrum der Signalwellen z.B. durch neue Materialien und Technologien zu erweitern und zur Durchführung eines solchen Verfahrens entsprechende Vorrichtungen vorzuschlagen.

Benötigt wird insbesondere eine Verfahrens- und Schaltungslösung für eine analog und/oder digital signalverarbeitende, intelligente bzw. parallele OE-Schnittstelle zur Verbindung von optischen Systemen mit elektronischen Systemen, die eine hohe Bitrate bzw. Bandbreite aufweist und die eine breitbandige hohe Rausch- und Hintergrundstrahlungsunterdrückung aufweist und auf kleinstem Raum hoch integrierbar ist.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Verfahrensanspruchs 1 und durch die nachfolgenden Unteransprüche und Vorrichtungsansprüche zur Durchführung des Verfahrens gelöst. Die gefundene Verfahrenslösung und die durchführende Schaltungslösung verarbeiten im gleichen Prozess optische Signalwellen und elektrische Signale in vielfältiger über den Stand der Technik hinausgehender Weise. Aufgrund der flexiblen und vielfältigen Funktionen und Prozessierungsmöglichkeiten für optische und elektrische Signale wird im folgenden das erfindungsgemäße Verfahren als **Opto-elektronisches Prozessor-Prinzip** kurz **OEP-Prinzip** und die entsprechende Vorrichtung als **Opto-elektronischer Prozessor**, kurz **OEP**, bezeichnet.

Es wird also ein grundlegend neues Verfahren zur Verbindung optischer und elektronischer Systeme vorgeschlagen, das neue Funktionalitäten der optoelektronischen Signalverarbeitung bietet.

Dieser Erfindung liegt die Erkenntnis zu Grunde, dass – über den bekannten Ladungsschaukelprozess des PMD-Prinzips hinaus – durch mikroelektronische photosensitive Streifenstrukturen in spezieller Konfiguration und Betriebsweise und durch Erweitern, Aufbrechen und Kombinieren bekannter opto-elektronischer Verfahren und Halbleiterstrukturen einzelne oder mehrere Strahlungssignale, vzw. optische Signalwellen, und mehrere elektrische Signale flexibel und gleichzeitig verknüpft und verarbeitet, die Funktionalität erhöht und Photoströme  $I_A$  extrem schnell ein- und ausgeschaltet werden können. Zugleich sind die möglichen Bandbreiten der beteiligten Signale, der Modulationssignale  $U_M$  und der Signalwellen  $P$ , außergewöhnlich groß, von DC bis in den GHz-Bereich. Sowohl auf der elektrischen Eingangsseite über die Modulationselektroden  $M$  als auch auf der optischen Eingangsseite über die sensitiven Bereiche  $PF$  bzw.  $\Delta PF$  des OEP können vorteilhaft auch Basisbandsignale und somit auch Logiksignale verarbeitet und über die Ausleseelektroden  $A$  auf der Ausgangsseite über eine Ausleseeinheit  $AEH$  bzw. eine Verknüpfungs- und Ausleseeinheit  $VAEH$  bei mehreren Ausleseströmen  $I_A$ , vzw. als Stromausleseschaltung ausgelegt, weiter verarbeitet werden. Je nach der Anwendung des OEP stellt die Modulationsquelle  $MQ$ , vzw. einen Spannungsgenerator für praktisch beliebige Spannungsverläufe mit einem Pegelbereich von vzw. wenigen Volt dar, z.B. einen Rechteck-, Sinus-, Wort-, FMCW- oder Pseudo-Random-Generator oder eine Logikschaltung, die die Logiksignale in definierte Modulationszustände des OEP umsetzt.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die Vorrichtungen zu seiner Durchführung erlauben zugleich eine extrem hohe und breitbandige Unterdrückung von zu den elektrischen Modulationssignalen nicht korrelierten Signalwellen und der rauscharmen Selektion der gesuchten und korrelierten Signalwellen mit minimalem Aufwand zu erreichen. Korrelation von Signalwelle und Modulationssignal bedeutet, dass jeder Signalenergieanteil unipolar je nach gewähltem Modulationszustand positiv oder negativ zu einem optimierten Auslesestrom bzw. einer maximierten Ladung innerhalb einer Integrationszeit beiträgt, was mit dem Prinzip des „Correlated Balanced Sampling“ bezeichnet wird.

Gleichzeitig bedeutet Nichtkorrelation von Signalwelle und Modulationssignal, dass die Auslesestromrichtungen zufällig verteilt sind und somit über der Integrationszeit rasch gegen Null tendieren. Hierin liegt die Möglichkeit, extrem rauscharme Empfänger zu realisieren, die das ganze Rauschspektrum durch Überabtastung (positive und negative Stromanteile) nach Maßgabe dieser Überabtastfrequenz reduzieren, was mit dem Prinzip des „Noncorrelated Balanced Suppression“ bezeichnet wird. Das vorteilhafte „Correlated Balanced Sampling“ kann beim OEP wesentlich breiterbandiger als bei den bekannten PMD-Anwendungen eingesetzt werden und bietet darüber hinaus noch eine wesentliche Störunterdrückung durch die gezielte Tastung des OEP, in dem es nur in den interessanten oder relevanten Zeiten aktiviert wird, d.h. eingeschaltet ist.

Bei der Unterdrückung eines optischen Gleichanteils, z.B. des Sonnenlichts, fließt der zugehörige Auslesestrom zu gleichen Anteilen hin und zurück, solange das Modulationssignal keinen Gleichanteil aufweist und wird ohne einen zusätzlichen schaltungstechnischen Aufwand eliminiert.

Beim erfindungsgemäßen **OEP-Prinzip** trifft von mindestens einer Signalquelle PQ mindestens eine Signalwelle auf eine vorzugsweise regelmäßige Streifenstruktur von Schottky- oder PN-Übergängen auf einem für die Signalwelle sensitiven Bereich eines p- oder n-Substrates 3 und generiert Ladungsträgerpaare.

Diese streifenförmigen Dioden bilden in der einfachsten Konfiguration eine Fingerstruktur aus 2 Gruppen von Modulationselektroden  $M_a$  und  $M_b$  sowie mindestens einer Gruppe von Ausleseelektroden A. Für eine hohe Bandbreite bzw. Schaltgeschwindigkeit sind die Streifenbreiten z.B. nur ca.  $1\mu\text{m}$  breit und die photosensitiven Streifen dazwischen nur etwa doppelt so breit. Die Basisfolge der Elektroden ist vzw.  $M_a - A - M_b - A$  und wird je nach gewünschter OEP-Form um ein Vielfaches fortgesetzt und in der Streifenlänge angepasst. Je ein Modulationssignal, vzw. ein Modulationssignal  $U_{Ma}$  und  $U_{Mb}$  modulieren den Transport der Ladungsträgerpaare und bestimmen so den Auslesestrom  $I_A$  der Ausleseelektroden A, der über die Ausleseklammer AK an die Ausleseeinheit AEH zur weiteren Verarbeitung und Auswertung weiter geleitet wird.

Mit dieser einfachsten Form der OEP-Struktur ist es erfindungsgemäß möglich, den Auslesestrom stationär oder dynamisch schnell über den gesamten Aussteuerbereich des Photostroms  $I_A$  von  $I_{A_{\min}}$  bis  $I_{A_{\max}} = -I_{A_{\min}}$  zu steuern, indem

die beiden Modulationsspannungen  $U_{Ma}$  und  $U_{Mb}$  entsprechende OEP-bezogene Spannungszustände annehmen. Insbesondere erlaubt das OEP den Auslesestrom extrem von  $I_{max}$  auf 0 oder  $I_{min}$  umzuschalten. Das beliebige Schalten dieser drei Modulationszustände stellt eine Schlüsselfunktion für viele Anwendungen und neuartige Problemlösungen dar. Im positiven Modulationszustand MZP gilt mit  $S$  als photosensitiver Empfindlichkeit  $IA = +SxP$  für MZP ( $U_{MaP}$ ,  $U_{MbP}$ ) wobei  $U_{MaP}$  und  $U_{MbP}$  die zugehörigen optimierten Modulationsspannungen darstellen. Entsprechendes gilt für den Modulationszustand MZN mit  $IA = -SxP$  für MZN ( $U_{MaN}$ ,  $U_{MbN}$ ) und für den Modulationszustand MZ0 mit  $IA = 0$  für MZ0 ( $U_{Ma0}$ ,  $U_{Mb0}$ ).

Bei dieser Ausführung des **Einfach-OEPs** wird der Nullzustand nur bei kleinen Spannungen erzielt. Die Wirkung der Nullschaltung im Modulationszustand MZ0 kann bei Anwendungen mit relativ großen Integrationszeiten erfindungsgemäß auch dadurch erreicht werden, dass anstelle der Nullschaltung eine schnelle Folge von Umschaltungen zwischen MZP und MZN erfolgt.

Eine maximale Schaltgeschwindigkeit wird mit dem **Zweifach- bzw. Twin-OEP** erzielt. Dazu bilden zwei Einfach-OEPs eine z.B. runde oder rechteckförmige Empfangsfläche, die in mindestens zwei gleiche Teile OEP1 und OEP2 aufgeteilt ist und wobei die Leistung der Signalwelle  $P$  auf die beiden OEPs gleich verteilt ist. Die beiden zugehörigen Ausleseströme  $IA1$  und  $IA2$  werden vzw. direkt zusammengeführt. Zur Erzielung der drei Modulationszustände werden wiederum entsprechende, einmalig abgestimmte Spannungszustände der vier Modulationsspannungen  $U_{Ma1}$ ,  $U_{Mb1}$ ,  $U_{Ma2}$ ,  $U_{Mb2}$  ermittelt und jeweils von der Modulationsquelle  $MQ$  geschaltet. Im Modulationszustand MZP gilt mit  $S$  als Sensitivität für die Auslesestromsumme  $IAS = IA1 + IA2 = +SxP1 + SxP2$  mit MZP ( $U_{Ma1P}$ ,  $U_{Mb1P}$ ,  $U_{Ma2P}$ ,  $U_{Mb2P}$ ) und entsprechend für den Modulationszustand MZN  $IAS = IA1 + IA2 = -SxP1 - SxP2$  mit MZN ( $U_{Ma1N}$ ,  $U_{Mb1N}$ ,  $U_{Ma2N}$ ,  $U_{Mb2N}$ ) und entsprechend für den Modulationszustand MZ0  $IAS = IA1 + IA2 = -SxP1 + SxP2$  oder  $+SxP1 - SxP2 = 0$  mit MZ0 ( $U_{Ma10}$ ,  $U_{Mb10}$ ,  $U_{Ma20}$ ,  $U_{Mb20}$ ).

Unsymmetrien im Aufbau der Fingerstruktur können durch entsprechende Messungen ermittelt und im Rückkopplungsprozess z.B. durch Korrektur der Modulationszustände eliminiert werden.

Bei der halbleitertechnischen Ausführung des OEP zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden vzw. zwei Strukturen vorgeschlagen.

Die Streifenausführung als Schottky-Übergang hat sich in sogenannten MSM-Photodioden seit Jahren bewährt. Die MSM-OEP- bzw. Schottky-OEP-Struktur wird vzw. auf potentialfreiem  $n^-$ - oder  $p^-$ -Substrat bzw. potentialfreier  $n^-$ - oder  $p^-$ -Epitaxieschicht ausgeführt.

Zur Verringerung des Dunkelstroms der Schottky-Übergänge wird die Ausleseelektrode vorteilhaft in Form eines Doppelstreifens ausgeführt, wobei die Bedingungen der drei besonderen Modulationszustände Positiv, Negativ und Null einzuhalten sind.

Bei der pn-Ausführung wird für das  $p^-/n^-$ -Substrat vzw. eine Sperrspannung zwischen die  $n^+$  bzw.  $p^+$  Elektrodenstreifen und der gegenüberliegenden Anode bzw. Kathode gelegt. Zusätzlich werden diese Streifen mit einer Metallelektrode ME abgedeckt, einerseits um eine nicht nutzbare Ladungsgeneration im Randbereich zu vermeiden und um die Modulation durch ein starkes Driffeld zu unterstützen. Dazu wird die Breite der Metallelektrode ME, eine Offsetspannung zwischen Ausleseelektrode A und Metallelektrode ME für einen effektiven Ladungstransport und eine vzw. kapazitive Kopplung optimiert. Je nach dem kapazitiven Kopplungsgrad zwischen Ausleseelektrode A und Metallelektrode ME wird auch die Ausleseelektrode A teilweise moduliert, wodurch der Hintergrundlichteinfluss auf Grund des „Non-Correlated-Suppression“-Effektes teilweise eliminiert wird.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die Empfindlichkeit des OEP durch Avalanche-Halbleiterstrukturen im OEP und durch Sekundärelektronenvervielfachung erhöht werden.

Letzteres kann z.B. durch Vorschalten einer Photokathode und einer Mikrokanalplatte und vzw. anschließender direkter OEP-Auslese im Vakuum erfolgen. Erfindungsgemäß wird eine weitere Verstärkung genutzt, – auch ohne Vorschalten der Mikrokanalplatte – die in der hohen Ionisationswirkung bzw. Quanteneffizienz beschleunigter energiereicher Photoelektronen besteht und die ein Vielfaches des üblichen Photostroms betragen kann, z.B. bis zu Faktor 1000.

Eine Ausgestaltung nach den Patentansprüchen 24 und 25 verwendet ein Vierfach-OEP in vzw. 4-Quadranten-Form oder Viersektoren-Kreisform, das in vielfacher Weise betrieben werden kann. Bei der Entfernungsmessung z.B. werden mehrere flexibel anpassbare Betriebsweisen ermöglicht. Eine Signalwelle ist gleichmäßig auf OEP1 bis OEP4 verteilt. Neben den vier Einzelentfernungen können der



Normalenvektor und der Mittenabstand der Oberfläche bestimmt werden. Gleichzeitig wird eine gewisse Sicherheit gegen Fehlmessungen erzielt.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann das OEP-Prinzip zum Abtasten von repetierend auftretenden Signalwellen verwendet werden.

Analog zum bekannten elektrischen Samplingoszilloskop wird vorzugsweise vielkanalig einer vorzugsweise repetierenden räumlichen Signalwelle vzw. zeitlich und räumlich parallel durch eine OEP-Matrix Probe für Probe abgetastet und in einer nachgeschalteten Signalverarbeitung zur Rekonstruktion der repetierenden Signalwelle verwendet.

Der Abtastvorgang geschieht durch kurzzeitiges Umschalten des Einfach-OEP oder des Zweifach-OEP mit gleich verteilter Signalwelle auf die Teil-OEPs vom Ruhezustand MZ0 in den Abtastzustand MZP mit einer positiv gewichteten Probe oder in den Abtastzustand MZN mit einer negativ gewichteten Probe. Die Einprägung des Abtastimpulses mittels eines Modulationsspannungspaares geschieht vzw. über CR-Hochpassglieder.

Durch Kombination positiver und negativer Proben und deren Vorzeichen richtige Gewichtung können Offset-Fehler und Rauschen wesentlich kompensiert werden.

Mit einem **OEP-Samplingoszilloskop** können mit einer OEP-Zeile oder OEP-Matrix dynamische räumliche Signalwellen nach dem OEP-Prinzip räumlich und zeitlich abgetastet und vermessen werden, wobei die Schottky-OEP-Technologie Bandbreiten von weit über 10GHz erwarten lässt.

Dieses OEP-Abtastverfahren ermöglicht ebenfalls die Aufnahme räumlicher Bilder hoher Repetiertrate in Form eines **OEP-Stroboskopes**.

In ähnlicher Weise kann analog zum bekannten Digitalen-Speicher-Oszilloskop (DSO) ein entsprechendes DSO auf Basis des OEP-Prinzips zur Vermessung einmaliger Signalwellen realisiert werden, wobei die dort eingesetzte elektrische Abtast-Halte-Schaltung durch eine **OEP-Abtast-Halte-Schaltung** ersetzt wird. Durch den Einsatz einer OEP-Zeile oder OEP-Matrix aus Einfach- oder Zweifach- oder Vierfach OEPs können Signalwellen räumlich und zeitlich vermessen und über die nachgeschalteten Analog-Digital-Wandler digital gespeichert werden. Dabei kann durch Unterteilung eines OEP-Pixels in z.B. 4 oder 9 oder 16 Teil-OEP-Pixel für die gleiche Signalwelle, die zyklisch nacheinander als Demultiplexer betrieben werden,

die hohe Wandlerrate um diese Faktoren reduziert werden und damit auch die Kosten wesentlich gesenkt werden.

Eine OEP-Matrix kann erfindungsgemäß als **OEP-Multiplexer** eingesetzt werden. Dazu werden mehrere parallele optische Signalwellen über eine OEP-Matrix in räumlicher Folge abgetastet und seriell als Strom- oder Spannungswerte oder über eine direkte Umwandlung mittels LED oder Laserdiode als optische Werte im Zeitmultiplex weitergegeben.

Auf Grund der hohen ausgangsseitigen Schaltgeschwindigkeit der erfindungsgemäßen OEP-Technologie können durch ein OEP-Pixelarray viele optisch parallele Kanäle von Raaummultiplexsignalen in schnellere Zeitmultiplexsignale kleinerer Kanalzahl umgesetzt werden.

Umgekehrt kann eine schnell modulierte Signalwelle als optisches Zeitmultiplexsignal durch die sequentielle Abtastung der gleich verteilten Signalwelle durch eine OEP-Matrix bzw. ein OEP-Pixelarray z.B. auf Basis des OEP-Parallel-Samplers als OEP-Demultiplexer eingesetzt werden, der das Multiplexsignal in langsamere parallele elektronische Kanäle verteilt.

Eine erfindungsgemäße OEP-Matrix kann vorteilhaft als OEP-Router mit kombinierter TDMA- und CDMA-Technik eingesetzt werden. Dazu wird im Zeitmultiplex- oder im Codemultiplex-Betrieb oder im gemischten Zeit- und Codemultiplexbetrieb von einem Array von Signalquellen SQ bzw. einem Array von ankommenden Signalwellen P, die eine Matrix von Einfach- oder Zweifach-OEPs z.B. über eine refraktive oder diffraktive Optik möglichst gleich verteilt bestrahlen, von der Router- bzw. Cross-Connect-Steuerung vzw. selektiv und wahlfrei auf Grund übereinstimmender Sende- und Empfangszeiten und/oder übereinstimmender Codierung durchgeschaltet.

Das selektive wahlfreie OE-Durchschalten bzw. Vermitteln vieler paralleler Eingangskanäle, z.B. eines Arrays von optischen Fasereingängen oder eines LED- oder VCSEL-Arrays auf ein OEP-Array mit zunächst elektronischen und nachfolgend wahlweise optischen Ausgangskanälen, kann mittels einer Freiraumausbreitung über größere Abstände und über Reflexionen der jeweiligen Raumbegrenzung z.B. in einem Büroraum, einem Fahrzeugraum, einem Gehäuseraum oder in einer vzw. optisch transparenten bzw. semitransparenten Trägerplatte (Optical Backplane) erfolgen. Dabei kann zwischen allen möglichen Kanälen von einem Signalquellenarray zu allen Kanälen eines OEP-Empfangsarrays eine wahlfreie

Selektion und Durchschaltung z.B. im Codemultiplex und / oder im Zeitmultiplex und / oder im Frequenzmultiplex erfolgen.

Eine weitere Ausgestaltung der Erfindung betrifft die Verknüpfung der elektrischen und optischen Signale durch **logische Gatter- und Speicherfunktionen**, die in ihrer Vielfalt nur beispielhaft beschrieben werden können. Werden z.B. zwei Signalwellen P1 und P2 auf ein Zweifach-OEP – erweiterbar auf ein Vielfaches von Signalwellen und Zweifach-OEPs – mit jeweils einer **Wired-OR-Verknüpfung WOR** der Ausleseströme und einer Stromauslese durch einen Strom-Spannungsverstärker  $V_R = U_{out}/I_{AS}$  mit dem Ausgang  $U_{out}$ , einem nachgeschalteten **Absolutglied ABS**, vzw. ein schneller von  $U_{out}$  komplementär angesteuerter Emitter oder Source-Folger mit verbundenem gemeinsamen Ausgang  $I_{U_{out}}$  und einem nachgeschalteten elektrooptischen Wandler zur Umsetzung von  $I_{U_{out}}$  in  $P_{out}$ , vzw. eine LED oder Laserdiode, die vzw. direkt z.B. auf einer GaAs- oder GaInASP-OEP-Struktur integriert sein kann, gegeben, so entstehen folgende Möglichkeiten zur Signalverknüpfung:

Durch Umschalten der drei Modulationszustände können die logischen Eigenschaften flexibel verändert werden. Für die Modulationszustände MZP für P1 und MZN für P2 oder umgekehrt ergibt sich folgende logische Funktionstabelle, bei der vorteilhaft auch ternäre Zustände genutzt werden können, die hier aber nur bezüglich einer binären Logik betrachtet werden sollen und für den Ausgang  $I_{U_{out}}$  und  $P_{out}$  eine direkte optische **OEP-XOR-Verknüpfung** von P1 und P2 erzeugen:

OEP-XOR-Gatter	P1	P2	$U_{out}$	$I_{U_{out}} / P_{out}$
Für MZP/MZN	0	0	0	0
bzw. für MZN/MZP	1	0	1	1
	0	1	-1	1
	1	1	0	0

Tabelle 1

Diese OEP-Logikstruktur kann relativ einfach, flexibel und extrem schnell in ihrer Funktion umgeschaltet werden, z.B. durch die Modulationszustände MZP für P1 und P2 in ein **OEP-OR-Gatterfunktion** entsprechend der folgenden Wahrheitstabelle, wobei hier die binäre Logik betrachtet wird und die erfindungsgemäßen

Möglichkeiten zur Nutzung der ternären Zustände nicht weiter veranschaulicht werden:

OEP-OR-Gatter	P1	P2	Uout	Uout  / Pout
Für MZP/MZP	0	0	0	0
	1	0	1	1
	0	1	1	1
	1	1	2 ( $\underline{\neq}1$ )	2 ( $\underline{\neq}1$ )

Tabelle 2

Für die Modulationszustände MZN/MZN für die beiden Modulationsspannungspaare der Teil-OEPs ergibt sich auf Grund der Negation aus der OR-Folge [0,1,1,1] eine entsprechende NOR-Folge [1,0,0,0] bzw. für  $\overline{P1}$  und  $\overline{P2}$  eine NAND-Verknüpfung.

Die jeweils letzten Positionen der beiden Tabellen 1 und 2 unten rechts bieten die Möglichkeit einer rein optischen schnellen Auslese elektrischer Logikzustände z.B. aus einem Datenspeicher.

Der abzurufende Zustand z.B. „Low“ = negative und „High“ = positive Spannung wird an die Modulationselektroden M2a/b gelegt und kann aus der optischen Rückmeldung Pout = Low oder High entsprechend UM2a/b = positiv oder negativ abgelesen werden, wenn P1 und P2 beide „High“, dass heißt, wenn beide eingeschaltet sind und UM1a/b konstant positiv ist.

In ähnlicher Weise können mit dieser beschriebenen Logikstruktur - vereinfacht und ohne Sicherheitsmaßnahmen betrachtet - Daten extrem schnell optisch in einen Speicher eingegeben und über Uout – ggs. unter Taktableitung aus dem P1-Valid-Signal – z.B. in ein Flipflop eingeschrieben werden, da z.B. mit P1 = High und „Valid“, mit UM1a/b=positiv und mit UM2a/b=negativ der **P2-Zustand Low/High** unmittelbar an den **Ausgang Uout** weiter gegeben wird.

Aus der Vielzahl der Anwendungsmöglichkeiten der aufgeführten Logikanwendungen kommt dem XOR-Gatter im Zusammenhang mit Phasenregelkreisen, insbesondere dem Delay-Locked-Loop DLL eine besondere Bedeutung zu.

Das erfindungsgemäße OEP-XOR-Gatter eröffnet völlig neue Möglichkeiten in optischen Systemen z.B. als extrem schneller digitaler inkohärenter Opto-Opto-Mischer für eine Inkohärent-Optisch-Optische PLL insbesondere in digitalen Phasenregelkreisen.

OEP-Logikstrukturen eignen sich besonders für den OE-Schnittstellenbereich.

Weitere Verarbeitungsschritte z.B. mit Flipflopstrukturen sind in konventioneller Art weit kostengünstiger.

Dennoch besteht erfindungsgemäß die Möglichkeit, durch geeignete Erweiterung dieser OEP-OR-Gatterschaltung mit einfacher oder wechselseitiger elektrischer und/oder optischer Rückkopplung schnelle, optische **OEP-Flipflop-Schaltungen** **OEP-FF** in den verschiedenen bekannten Variationen ohmscher und/oder kapazitiver Rückkopplung als bistabiles (D-FF, JK-FF), monostabiles, astabiles Flipflop, und als Schmitt-Trigger zu realisieren.

Durch eine vorteilhafte Integration z.B. in GaAs-Technologie können auf OEP-Basis sehr hohe Bitraten im GHz-Bereich - u.a. mit Arbeitspunkt, optimierten VCSEL Laserdioden - ermöglicht werden, da GaAs- und GaInAsP-MSM-Photodioden und - Laserdioden heute Bitraten von 50 - 100 Gbit/s erreichen.

Erfindungsgemäß erlaubt das OEP neben den schnellen Schaltmöglichkeiten, neben den logischen Funktionen und wechselseitigen, teilweise rückgekoppelten Verknüpfungsmöglichkeiten eine extrem **schnelle Mischung und Korrelation** von Signalwellen, vzw. optischer Signale, mit elektrischen Signalen.

Bei digitalen Modulationssignalen bedeutet diese Mischung bzw. Korrelation, dass das Modulationsspannungspaar im Gegentakt zwischen den Modulationszuständen MZP und MZN geschaltet wird.

Einfach-OEPs bzw. Zweifach-OEPs werden erfindungsgemäß als Mischer und Korrelator von mindestens einem Modulationsspannungspaar an mindestens einer Modulationselektrodengruppe und mindestens einer vzw. modulierten Signalwelle  $P = P_0 + p(t)$  mit einem Gleichanteil  $P_0$  und einem Wechselanteil  $p(t)$  betrieben.

Dabei wird im Idealfall der Auslesestrom jeweils mit  $I_A = I_{A0} + i_A(t)$  bzw.  $I_{AS} = I_{A1} + I_{A2} = I_{AS0} + i_{AS}(t)$  zu 100% und symmetrisch durch die Modulationsspannungen  $U_{Ma} = U_{Ma0} + u_{ma}(t)$  und  $U_{Mb} = U_{Mb0} + u_{mb}(t)$  mit vzw.  $u_{ma}(t) \cong u_{mb}(t)$  bzw.  $U_{M1a} = U_{M1a0} + u_{m1a}(t)$  und  $U_{M1b} = U_{M1b0} + u_{m1b}(t)$  mit vzw.  $u_{m1a}(t) \cong u_{m1b}(t)$  sowie  $U_{M2a} = U_{M2a0} + u_{m2a}(t)$  und  $U_{M2b} = U_{M2b0} + u_{m2b}(t)$  moduliert, wobei ein Symmetrieabgleich der Ausleseströme  $I_{A1}$  und  $I_{A2}$  wahlweise im optischen Bereich erfolgen kann, und der OEP nach Maßgabe der Modulation vzw. zwischen den

Modulationszuständen MZP mit positivem Auslesestrom und MZN mit negativem Auslesestrom betrieben.

Beim Zweifach-OEP ist die Intensitätsverteilung der Signalwelle vzw. gleich verteilt auf den Teil-OEP1 und Teil-OEP2. Beim Zweifach-OEP kann der Modulationsgrad des Auslesestroms vom Maximalwert 100% mit  $IAS = IA1 + IA2$  und mit  $IA1 = IA2$  durch eine gegenläufige Unsymmetrie der Tastverhältnisse von MZP1/MZN1 bzw. MZP2/MZN2 linear bis 0%, was dem modulationslosen Nullzustand MZP1/MZN2 oder MZN1/MZP2 und somit in der Summe dem Nullzustand MZS0 entspricht, verringert werden.

Bei summierender Stromauslese (Wired-OR) werden Teil-OEP1 und 2 mit der gleichen Phase moduliert. Bei der Differenzauslese der Ausleseeinheit werden beide Teil-OEPs gegenphasig bzw. komplementär mit MZN/MZP moduliert.

Zur Auswertung des gesuchten Mischproduktes weist die Verknüpfungs- und Ausleseeinheit VAEH vzw. Selektions- und Filtereigenschaften auf, z.B. im Frequenzband für eine bestimmte Mischfrequenz. Der Mischprozess wird in zahlreichen Anwendungen wie im OE-Lock-in-Verstärker, OE-Phasenregelkreis (OE-PLL), in der Laufzeitmessung von Laserradars, verbunden mit einer Kurzzeitintegration und somit einer Korrelation, und als OE-Frequenzkonverter eingesetzt.

Für das Korrelationsergebnis wird das Mischprodukt im Basisband vzw durch eine Kurzzeitintegration ermittelt, vzw. durch einen Millerintegrator mit Reset Schaltern.

Ein besonderer Vorteil des OEP-Mischers und OEP-Korrelators besteht in der schnellen Umschaltmöglichkeit der Modulationssignale und Modulationszustände durch eine entsprechend schnelle Modulationsquelle MQ.

Vorteilhaft sind vor allem der mögliche Zeitmultiplexbetrieb und der Burst-Betrieb durch das schnelle vollständige An- und das Abschalten des Auslesestroms in den Nullzustand MZ0 bzw. MZS0.

Beim Einsatz des Zweifach-OEPs wird mit einer gleich verteilten Signalwelle Pin das erste Teil-OEP1 mit dem zugehörigen Modulationsspannungspaar UM1a und UM1b im Gleichtakt der Modulationszustände MZP/MZN moduliert. Bei summierender Stromauslese (Wired-OR) wird das Teil-OEP2 mit der gleichen Phase moduliert. Bei

der Differenzauslese der Ausleseseinheit werden beide Teil-OEPs gegenphasig bzw. komplementär mit MZN/MZP für 1/0 moduliert.

Beim Einsatz des neuen OEP-Korrelators in der optischen Nachrichtenübertragung, z.B. in der diffusen Freiraumkommunikation in Hallen und Räumen aber auch in relativ kleinen Gerätegehäusen, in der allgemeinen und mikrosystemtechnischen Optischen Verbindungstechnik und den sog. Optical Backplanes als Multilayer-Verdrahtungsergänzung sowie in leitungsgebundenen optischen Netzen, z.B. Polymerfaser-LAN im Automotive-Bereich, wird eine relativ hohe Bandbreite bzw. Bitrate am Ausgang gefordert.

Die relativ niederohmige Ausleseschaltung und das geringe Übersprechen des Modulationssignals über die kleinen Sperrschichtkapazitäten z.B. der MSM-Photodioden erlauben kurze Integrationszeiten und damit hohe Bitraten.

Durch Code- und Zeitmultiplexbetrieb (CDMA und TDMA) und weitere Multiplexverfahren in einem solchen Netz kann die Anzahl der Kanäle aufgrund der besonderen Eigenschaften des Correlated und des Non Correlated Balanced Sampling in den Empfangsknoten auf über 100 erhöht werden. Der Grund liegt in der fast vollständigen Unterdrückung solcher Signalwellen, die nicht mit dem Modulationssignal korrelieren. Am Ausgang A löschen sich die Stromanteile nichtkorrelierter Signale durch die fortlaufende Richtungsumkehr und Mittelung zu selbst Null aus.

In einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird für unbekannte Signalwellen der Korrelationsprozess mit geeigneten Modulationssignalen des OEP dadurch erreicht, dass die Signalwelle erst durch eine geeignete Modulation unmittelbar vor Eintritt in die OEP-Empfangseinrichtung durch eine zusätzliche bzw. in das OEP-System integrierte Modulationsvorrichtung, deren Modulation mit der des OEP in einer bestimmten Beziehung steht, erfolgt.

Die Aufgabe besteht z.B. in der hochempfindlichen und preisgünstigen Erfassung von Wärmebildern. Herkömmliche Wärmebildkameras arbeiten etwa im 3 – 10µm-Wellenlängenbereich mit entsprechend geeigneten Halbleitermaterialien und z.B. einer Kühlung mit flüssigem Stickstoff zur Unterdrückung des starken Wärmerauschens des Detektors.

Die einfache Struktur des erfindungsgemäßen OEP-Pixels lässt sich außer in der schnellen MSM-Technologie je nach spektraler Zielsetzung durch viele

Halbleiterwerkstoffe und -technologien realisieren, z.B. in Si-Bipolartechnologie (die vzw. metallischen Streifenstrukturen decken dabei z.B.  $n^+$ -Kathodenstreifen über  $p$ -Silizium ab. Für den fernen Infrarot- und für den Wärmestrahlungsbereich kann z.B. Indium-Antimonid InSb und HgCdTe eingesetzt werden. Da die Dunkelströme durch eine Modulation zwischen den Zuständen MZP und MZN weitgehend durch den Effekt des Correlated Balanced Sampling (CBS) unterdrückt werden, erreicht man auch ohne die übliche teure Kühlung hohe Empfindlichkeiten. Dazu wird bei der Bildaufnahme die einfallende Signalwelle im Takt der Modulation z.B. durch eine rotierende Chopperscheibe oder durch ein Array von Mikrospiegeln (Digital Mirror Devices) rechteckmoduliert.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung werden ein Verfahren zur Steigerung der Empfindlichkeit der OEP-Empfangeinrichtung und eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens angegeben.

Neben den bekannten und erläuterten Möglichkeiten zur Steigerung der Empfindlichkeit wie spektrale Filterung der Signalwelle, Correlated-Balanced-Sampling usw. kann der OEP-Empfangsfläche, die vzw. aus einer OEP-Zeile oder einer OEP-Matrix besteht, eine Bildverstärkereinheit zur Verstärkung der Intensität der Signalwelle vorgeschaltet werden.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Signalwelle zunächst in ihrem räumlichen Querschnitt eines Photonenstroms durch vzw. eine Photokathode direkt oder mittelbar z.B. über Szintillatoren im Röntgenbereich in einen entsprechenden Querschnitt eines Elektronenstroms umgewandelt.

Im Vakuum liegt die OEP-Oberflächenstruktur der Photokathodenfläche vzw. als parallele Fläche und zugleich auf positivem Anodenpotential direkt gegenüber. So erfahren die von der Signalwelle ausgelösten Photoelektronen auf der Vakuumseite der Photokathode eine Beschleunigung entsprechend dem mit  $U_A$  definierten Potentialunterschied von z.B. 10 bis 1000 Volt, der in einfacher Weise steuerbar oder regelbar ist. Die Ionisierungswirkung und Bildung von Ladungsträgerpaaren im sensitiven Bereich 3 wird durch die erhöhte Energie der auftreffenden Elektronen von  $eU_A$  etwa um ein entsprechendes Maß verstärkt. Die Funktionsweise des OEP-Prinzips wird dabei von einer Signalwelle von vzw. Photonen auf beschleunigte Elektronen bzw. Betastrahlen ausgedehnt.



Die so erzielbare extrem hohe Empfindlichkeit bei gleichzeitig hoher Unterdrückung nicht korrelierter Signalwellen erlaubt vielfältige Messverfahren, z.B. eine verbesserte Infrarot-Tomographie in der Medizintechnik.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann die OEP-Empfindlichkeit durch eine zwischen Photokathode und OEP-Empfangsfläche durchgeführte Elektronenvervielfachung weiter erhöht werden.

Dazu ist vzw. eine MCP (Micro Channel Plate) vzw. vom gleichen Flächenprofil der Photokathode und der OEP-Empfangsfläche vorgesehen, deren Frontseite auf einem ersten Anodenpotential liegt. Ein zweites Anodenpotential gegenüber dem ersten auf der Rückseite der Mikrokanalplatte beschleunigt die Elektronen innerhalb der Mikrokanäle durch eine MCP-Spannung von z.B. 1000 Volt, wodurch eine Sekundärelektronenvervielfachung mit etwa 1000-facher Stromverstärkung erzielt wird. Die Oberflächenstruktur des OEP liegt auf einem dritten Anodenpotential und kann zu einer weiteren regelbaren Verstärkung beitragen.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung kann eine Entfernungsmessung nach dem Laserradarprinzip mit einer **lateralen Geschwindigkeitsmessung** vorteilhaft in einer integrierenden Funktionsweise und zu einem integrierten Gerät vereint werden. Dabei arbeitet ein OEP-Array zeitweilig im Modus eines pixelweise bzw. räumlich parallelen **Korrelationsempfanges im Zeitbereich** und zeitweilig im Modus eines zeitlich parallelen **Korrelationsempfanges im Ortsbereich**. Erstere eignet sich optimal für die orthogonale Geschwindigkeitsmessung  $v_{rad}$  einer die Signalwelle rückstreuenden Oberfläche und letztere optimal für die laterale Geschwindigkeitsmessung  $v_{lat}(v_x, v_y)$  dieser Oberfläche.

Die zeitliche Korrelation realisiert für die einfallende Signalwelle OEP-Pixel für OEP-Pixel eine Filterung und Messung im Zeit- und Frequenzbereich.

Die räumliche Korrelation realisiert für die einfallende Signalwelle eine Filterung und Messung im Ortsbereich und im Ortsfrequenzbereich in aufeinander folgenden Schritten. Dabei wird die Signalwelle  $P(x,y)$  bzw. ihre 2D-Fourier-Transformierte  $P(f_x, f_y)$  zum Zeitpunkt  $t_i$  mit der Gewichtung  $G(x,y)$  z.B. durch eine regelmäßige OEP-Matrix im Ortsbereich mit  $P(x,y) \cdot G(-x,-y)$  korreliert bzw. im Ortsfrequenzbereich mit der 2D-Fourier-Transformierten gemäß  $P(f_x, f_y) \times G^*(f_x, f_y)$  multipliziert.

Erfindungsgemäß werden beide Möglichkeiten mit dem gleichen OEP-Array durch Umschaltung der OEP-Funktionen und spezifischer Auswertung vorgeschlagen.

Beispielhaft ausgehend von einer einfachen OEP-Matrix werden drei Betriebsarten realisiert, erstens die der OEP-3D-Kamera wie in zahlreichen Veröffentlichungen zur PMD-3D-Kamera beschrieben, zweitens die der Nullschaltung für einen von der Leistungsbilanz her optimierten Burst-Betrieb und drittens die Laterale Geschwindigkeitsmessung

Zur dritten Betriebsart wird zunächst von einem OEP-Schachbrettmuster ausgegangen, bei dem z.B. alle hellen Felder positiv mit konstantem Modulationszustand MZP/MZP von gleich verteilt bestrahlten Zweifach-OEPs mit Wired-OR-Stromauslese gewichtet, während die dunklen Felder negativ mit MZN/MZN gewichtet werden.

Das OEP-Schachbrettmuster filtert entsprechend seiner Abbildung auf einer Oberfläche als ein zweidimensionales Ortsfilter bzw. Ortsfrequenzfilter mit der abgebildeten OEP-Kantenlänge  $D_x$  und  $D_y$  als halber Musterperiode und den entsprechenden Ortsfrequenzen  $f_{D_x} = 1/2D_x$  und  $f_{D_y} = 1/2D_y$ . Ohne Lateralbewegung wird die Amplitude  $A_x$  bzw.  $A_y$  der Leistungsdichte bei dieser Ortsfrequenz gemessen.

Bei einer Bewegung wechselt die Phase mit der Dauer  $T_t = 2D/v$  bzw. mit der Zeitfrequenz  $f_t = 1/T_t$ . Damit ergeben sich die gesuchten Geschwindigkeiten in den vektoriellen Komponenten  $v_x = 2D_x/T_{tx} = f_{tx}/f_{D_x}$  und  $v_y = 2D_y/T_{ty} = f_{ty}/f_{D_y}$ .

Da die abgebildete Kantenlänge des OEP-Pixels über den optischen Maßstabsfaktor vom Abstand abhängt, ist zusätzlich mit zumindest Teilen der OEP-Matrix eine Abstandsmessung durchzuführen, die erfindungsgemäß im Zeitmultiplex oder im Raummultiplex erfolgen kann.

In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung wird eine OEP-Empfangseinrichtung vorteilhaft zur Vermessung von Laufzeiten, insbesondere von Relaxationszeiten, bei der Analyse chemischer und biologischer Substanzen eingesetzt. Der prinzipielle Messaufbau kann mit der OEP-3D-Kamera verglichen werden, wenn berücksichtigt wird, dass eine Dimension des OEP-Arrays für die spektrale Zerlegung des rückgestreuten oder transmittierten Lichtes verwendet wird und dass die anregende Signalwelle bzw. energiereicher ist als der vermessene Spektralbereich.

Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispiels unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben; in dieser zeigt

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Aufsicht eines optoelektronischen Prozessorelementes OEP als Einfach-OEP für die erfindungsgemäße Verarbeitung und Verknüpfung vzw. optischer und elektrischer Signale,

Fig. 2 eine schematische Darstellung des Zweifach-OEPs analog zum Einfach-OEP in Fig. 1, jedoch mit einer Schaltungsausführung einer nachgeschalteten Ausleseseinheit,

Fig. 3 eine schematische Darstellung der Struktur des Vierfach-OEPs in 4-Quadrantenform,

Fig. 4 ein Blockschaltbild eines OEP-Sensoriksystems bzw. eines einfachen Kommunikationssystems,

Fig. 5 das Blockschaltbild eines komplexen OEP-Kommunikationssystems insbesondere für die Freiraumkommunikation,

Fig. 6 das Blockschaltbild eines Routers bzw. einer optischen Vermittlungseinheit auf OEP-Basis,

Fig. 7 eine OEP-Schnittstellenkomponente und

Fig. 8 eine OEP-Ausführung für extrem hohe Empfindlichkeit.

Fig. 1 zeigt die Oberfläche eines für Signalwellen sensitiven Halbleitersubstrates mit einer regelmäßigen Belegung von gleichartigen Modulationselektroden  $M_a$  und  $M_b$ , zwischen denen jeweils Ausleseelektroden  $A$  liegen. Die Modulationselektroden werden von der Modulationsquelle  $MQ$  an den Klemmen  $MK_a$  und  $MK_b$  mit den zugehörigen Modulationsspannungen  $U_{Ma}$  und  $U_{Mb}$  moduliert und beeinflussen so die Verteilung und Richtung des ausgelesenen Ladungsträgerstroms  $I_A$  an der Ausleklemme  $AK$ . Die Auslesespannung wird vzw. zu Null mittels einer

niederohmigen Ausleseseinheit AEH gewählt. Bei diesem dargestellten Einfach-OEP wird eine Nullschaltung im Modulationszustand MZO mit  $I_A = 0$  dadurch erreicht, dass für kleine Unsymmetrien der Modulationsspannungen ein Stromausgleich zwischen den kurzschlussmäßig verbundenen Ausleseelektroden stattfindet. Markante Modulationszustände, die über die Klemme MQK vorgegeben werden können, sind erstens MZP mit maximal positivem Stromzustand  $I_{Amax}$ , zweitens MZN mit maximal negativem Stromzustand  $I_{Amin}$  und MZO mit  $I_A = 0$ .

Wie in Fig. 2 dargestellt können die prinzipiell gleichen Eigenschaften auch mit einer Aufteilung der OEP-Struktur in zwei Teil-OEPs, mit dem sog. Zweifach-OEP erzielt werden. Dabei wird zunächst von einer einzigen Signalwelle  $P(t)$  mit gleich verteilter Leistung ausgegangen. Die Summe der Ströme kann durch eine Wired-OR-Schaltung WOR zusammengefasst werden und in der Summe durch gleichsinnige oder gegensinnige Modulation der beiden Teil-OEPs 1 und 2 von  $I_{max}$  bis  $I_{min}$  gesteuert werden.

Die beiden Ströme  $I_{A1}$  und  $I_{A2}$  können auch getrennt von einer Verknüpfungs- und Ausleseseinheit VAEH – wie in Fig. 2 dargestellt – von einem Differenz-Millerintegrator ausgelesen werden. Das entspricht der Wirkung einer Subtraktion der Ströme, und man erhält den Nullzustand MZO mit der Kombination MZP1/MZP2 oder MZN1/MZN2.

Der dabei entstehende Gleichtaktanteil lädt die Auslesekapazitäten  $C_{A1}$  und  $C_{A2}$  gleichsinnig auf, ohne dass eine Gegentaktausgangsspannung  $\Delta U_A$ , die für die Auswertung der Korrelationsfunktion von optischem und elektrischem Signal interessiert, auftritt.

Dauerzustände dieser Art könnten zur Gleichtaktübersteuerung führen. Sie werden durch Reset-Schaltungen oder durch die angegebene Schaltung aus der  $R_{ev} - R_{ev}$  – Brückenschaltung, die den ausgangsseitigen Gleichtaktanteil abgreift und über  $R_1$  und  $R_2$  gegengekoppelt an den beiden Eingängen einspeist, kompensiert. An dieser Rückführungsleitung steht die Gleichtaktspannung als  $-U_{ev} \times 2R_f/R_{ev}$  für sonstige Regelaufgaben zur Verfügung.

Fig. 3 stellt schematisch in der Aufsicht ein Vierfach-OEP dar, das sowohl die Funktion des Einfach-OEP als auch des Zweifach-OEP zu ersetzen vermag und darüber hinaus die Bestimmung der Phase einer Korrelationsfunktion durch die

mögliche Parallelmessung in einem Vorgang zu bestimmen vermag. Die orthogonale Ausrichtung der benachbarten Fingerstrukturen führt zu minimalem Übersprechen. An den beiden Klemmen K1 und K2 kann das Übersprechen der Modulationssignale auf die Ausleseelektroden durch entsprechende Gegentaktsignale kompensiert werden.

Fig. 4 veranschaulicht in einem Blockschaltbild den Aufbau eines OEP-Sensorik-Systems am Beispiel eines Zweifach-OEPs, der hier stellvertretend für eine OEP-Zeile oder OEP-Matrix steht.

Die Signalquelle SQ wird über die Modulationsquelle MQ mit wählbarer Verzögerung  $\Delta T$  bzw.  $\Delta \phi$  moduliert und sendet die Signalwelle  $P_S(t)$  aus. Sie regt z.B. in der Fluoreszenz-Spektroskopie eine Probe an oder beleuchtet beim Laserradar eine 3D-Szene. Die empfangene Signalwelle  $P(t) = P_1(t) + P_2(t)$  wird durch geeignete Modulationsspannungen, die in Beziehung zur Signalquellenmodulation stehen, demoduliert. Es folgen die Verarbeitungs- und Auswerteeinheiten Verknüpfungs- und Ausleseeinheit, Signal- und Datenverarbeitungssystem und Aktoriksystem. Die Steuerung ST sorgt für die Abstimmung und Optimierung der Messverläufe.

Fig. 5 stellt schematisch das Blockschaltbild für den Informationsaustausch von zwei – vor allem rein technischen – Teilnehmern über OEP-Arrays und LED/Laserdioden-Arrays dar, insbesondere für neue Anwendungen in der Freiraumkommunikation z.B. in der Raumfahrt, innerhalb von Räumen, Fahrzeugen, Geräten und in optisch transparenten Leiterplatten, aber auch in bidirektional genutzten lokalen Polymerfasernetzen. Ein Transmitter/Receiver-System TR1 sendet über das elektro-optische Interface der LED oder Laserdiode über den Strahlungsweg 8 über vorwiegend diffuse Streuung codierte Daten an ein OEP-Interface mit einer Mehrzahl von OEP-Empfängern und einem nachgeschalteten Elektroniksystem (EL-System). Der Rückkanal verläuft je nach Anwendung direkt über den Transmitter 2 oder über ein lokales oder Weitverkehrsnetz.

In Fig. 6 wird vereinfacht ein Router bzw. eine optische Vermittlungseinheit (Optical Cross Connect) im Blockschaltbild dargestellt. Der serielle Eingangsdatenstrom wird über einen eingangssseitigen Demultiplexer DEMUX und über ein paralleles Transmitter-Interface ITF auf ein LED- bzw. Laserdioden- bzw. VCSEL-Array und

weiter über eine diffraktive Optik für eine gleichmäßige Leistungsverteilung auf eine OEP-Matrix gegeben. Die Zuordnung der zu vermittelnden Kanäle geschieht im Code- und Zeitmultiplex. Die parallelen Ausgänge der OEP-Matrix führen über das parallele Receiver-Interface RIF auf einen ausgangsseitigen Multiplexer MUX zur vorwiegend seriellen Ausgabe der gerouteten bzw. vermittelten Datenströme.

Fig. 7 zeigt schematisch einen neuartigen OEP-Logikbaustein, der beispielhaft demonstrieren soll, wie ein optisch-elektronisches Interface sowohl die Geschwindigkeit wesentlich zu steigern als auch den Aufbau wesentlich zu vereinfachen vermag.

Zwei Signalquellen SQ1 und SQ2 koppeln die Signalwellen P1 und P2 über Lichtwellenleiter LWL auf das Zwelfach-OEP (Twin-OEP) mit OEP1 und OEP2. Die Ausgangsströme IA1 und IA2 werden durch UM1a/b und UM2a/b gesteuert und zu  $I_{AS}$  zusammengeführt. Auf den Strom/Spannungsverstärker  $V_R$  mit positiver Verstärkung und dem Ausgang  $U_{out}$  folgen ein Betragsglied ABS mit  $IU_{out}$  und eine LED/Laserdiode mit  $P_{out}$ .

Diese einfache OEP-Musterschaltung erfüllt vier Funktionen:

1. P1 und P2 sind bzgl.  $IU_{out}$  und  $P_{out}$  für die Modulationszustände MZ1P/MZ1N logisch über XOR verknüpft
2. Für MZ1P/MZ2P sind P1 und P2 über OR verknüpft.
3. Mit P1 und P2 „High“ kann ein logischer Zustand UM2a/b als  $P_{out}$  sehr schnell rein optisch ausgelesen werden.
4. Mit P1 „High“ und dem Modulationszustand UM1P/UM2N kann der P2-Zustand rein optisch unmittelbar an  $U_{out}$  weitergegeben und z.B. in einen Speicher eingeschrieben werden.

Fig. 8 skizziert eine Möglichkeit zur Empfindlichkeitssteigerung des OEP-Prinzips. In einer ersten Ausführung ohne die eingezeichnete Mikro-Kanalplatte MCP besteht der OEP-Bildverstärker aus der linksseitigen Photokathode, auf die die Signalwelle  $P(t)$  trifft. Auf der Vakuumseite der Photokathode entsteht ein Abbild des Photoneneinfalls als Elektronenaustritt. Durch eine hinreichend positive Spannung der OEP-Empfangsfläche, die als positive Anode gegenüber der Kathode wirkt, treffen die Elektronen mit entsprechend hoher Energie  $eUA$  auf den Photosensitiven

Bereich 3. Dieser Energiezuwachs hat eine entsprechende Erhöhung der Paarbildung und damit eine Steigerung der Empfindlichkeit zur Folge.

Durch das Einfügen einer Mikrokanalplatte MCP wie dargestellt, kann bei entsprechenden Betriebsspannungen die Empfindlichkeit weiter erhöht werden.

Der rechte Teil in Fig. 8 zeigt schematisch eine Aufsicht auf die Pixelstruktur.

## **Verfahren und Vorrichtung zur Erfassung und Verarbeitung elektrischer und optischer Signale**

### **Patentansprüche**

1. Verfahren zur digitalen und analogen Verarbeitung, Erfassung, Korrelation und Verknüpfung sowie zum Erfassen und Auswerten von elektromagnetischen Signalwellen im gesamten Bereich von Wärmewellen bis zur Gamma-Strahlung, weiterhin von Elektronenstrahlen sowie von sonstigen Ladungen generierenden Strahlungssignalen, im folgenden kurz als „Signalwellen“, bzw. als optische Signalwellen, bezeichnet, wobei eine Signalquelle modulierte Signalwellen erzeugt, die durch ein Übertragungsmedium übertragen bzw. durch ein Objekt aufgrund von Reflexion und/oder Streuung verändert, von einer Empfangseinrichtung mit einer ortsauflösenden und/oder zeitauflösenden Sensorstruktur empfangen und mit mindestens einem Modulationssignal, das in einer wohl definierten Beziehung zur Modulation der Signalwelle steht, in der Empfangseinrichtung im zeitlichen und räumlichen Bezug direkt demoduliert bzw. logisch verknüpft wird, wobei in für Signalwellen sensitiven Bereichen oder Gruppen von sensitiven Bereichen der Empfangseinrichtung durch die Signalwellenenergie unmittelbar oder mittelbar Ladungsträger erzeugt und nach Maßgabe der ortsauflösenden und/oder zeitauflösenden Sensorstruktur unter Anwendung dieses mindestens einen Modulationssignals als Summen-, Misch-, logisches Verknüpfungssignal und/oder Korrelationssignal auf mindestens eine Ausleseelektrode oder eine entsprechende Gruppe von Ausleseelektroden geleitet werden und als entsprechende Ausleseströme zur weiteren Verknüpfung und/oder Verarbeitung weiter geleitet werden, bei dem

eine Mehrzahl streifenförmiger Elektroden Schottky-Übergänge oder PN-Übergänge in bzw. auf einem strahlungssensitiven Bereich 3, bzw. einem Halbleitersubstrat, bildet, auf den mindestens eine Signalwelle P als bzw. optisches Eingangssignal einfällt, das im strahlungssensitiven Bereich 3 Ladungsträger generiert, die durch mindestens zwei Gruppen von Modulationselektroden Ma und Mb nach Maßgabe der mindestens zwei diesen Gruppen zugeordneten Modulationsspannungen UMa und UMb als elektrischen Eingangssignalen in ihrer Stromverteilung und Flussrichtung zu mindestens einer Gruppe von Ausleseelektroden A gesteuert werden und als



Auslesestrom IA an einer gemeinsamen elektrischen Ausleklemme AK abgreifbar ist, wobei die jeweils zwei Gruppen von Modulationselektroden der jeweils einen Gruppe von Ausleseelektroden A zu Erzielung eines möglichst wirksamen elektrischen Steuerfeldes unmittelbar benachbart und vzw. in einer verschränkten Fingerstruktur der Folge von Elektroden Ma, A, Mb, A, Ma, A, Mb usw., die die sensitive Fläche PF in die dazwischen liegenden vzw. streifenförmigen Teilflächen  $\Delta PF$  zerteilt, zugeordnet sind, und wobei diese Empfangseinrichtung als optoelektronischer Prozessor OEP für die mindestens zwei Modulationsspannungen UMa und UMb und für die mindestens eine Signalwelle P eine digitale und/oder analoge Verknüpfung und Verarbeitung durchführt und das mindestens eine Ergebnis als Auslesestrom IA an der zugehörigen Ausleklemme zur weiteren Verarbeitung und Auswertung zur Verfügung steht.

## 2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem

in einer ersten Betriebsweise der Opto-Elektronische Prozessor OEP als Einfach-OEP mit einer bis auf Streifenbasis gemischten Gruppierung der Elektroden in der Folge Ma, A, Mb, A, Ma, A, Mb usw. betrieben wird, oder in einer zweiten Betriebsweise als Zweifach-OEP bzw. Twin-OEP mit vzw. räumlich. symmetrischer Aufteilung auf zwei Teil-OEPs mit mindestens zwei Hälften vzw. von der Struktur des Einfach-OEPs, oder in einer dritten Betriebsweise als Vierfach-OEP mit vzw. räumlich symmetrischer Aufteilung auf vier Teil-OEPs mit mindestens vier Vierteln, wobei jedoch unabhängig von der Vielfältigkeit dieser und weiterer Unterteilungen ein N-fach-OEP immer auch als N/2-fach-OEP bis herunter zum Einfach-OEP betrieben werden kann und wobei diese Mehrfach-OEPs für die elektrischen und optischen Eingangssignale signalverarbeitende OEP-Systeme mit vielfältiger wechselseitiger interner und externer Verknüpfung und Rückkopplung bilden, die insbesondere durch schnelles logisches Verknüpfen, schnelles Mischen und/oder Korrelieren, schnelles Ein- und Ausschalten von Ausleseströmen und schnelles Empfangen, Abrufen, Regenerieren, Multiplexen und Demultiplexen von Daten die elektrischen und optischen Eingangssignale verarbeiten, und wobei das Ergebnis dieses optoelektronischen Verarbeitungsprozesses in Form der zugehörigen Ausleseströme vzw. durch eine Verknüpfungs- und Ausleseeinheit VAEH ausgelesen und in nachgeschalteten Signal- und Datenverarbeitungssystemen SDV und Aktoriksystemen ASY ausgewertet werden.

**3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, bei dem**

die eine Mehrzahl von Signalwellen  $P$  als Signalwellenelemente einer ausgedehnten raum- und zeitabhängigen Signalwelle  $P(x,y,z-ct)$  mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$ , die von wahlweise moduliert oder konstant bestrahlten Flächenelementen einer bewegten Oberfläche ausgehen, von einer zuzuordnenden Mehrzahl von Opto-Elektronischen Prozessoren OEP, bzw. einer regelmäßigen Anordnung von OEP-Pixeln bzw. einem OEP-Pixelarray, empfangen werden, und bei dem die pixelweise zugeordneten Signalwellen wahlweise einzeln in zeitlicher Folge mit den Modulationssignalen der OEP-Pixel korreliert und diese Korrelationsergebnisse im Zeitbereich bzw. bzgl. des Abstandes und der orthogonalen Geschwindigkeit der Flächenelemente ausgewertet werden oder bei dem wahlweise das OEP-Pixelarray eine der Oberflächenstruktur optimal angepasste räumliche Gewichtung, z.B. mit einem positiv/negativ gewichteten Schachbrettmuster, und damit eine Korrelation mit der bewegten Oberflächenintensitätsstruktur durchführt und diese Korrelationsergebnisse im 2D-Ortsbereich bzw. bzgl. der Lateralgeschwindigkeit ausgewertet wird.

**4. Verfahren nach Anspruch 1, bis 3, bei dem**

der Opto-Elektronische Prozessor OEP mit bzw. niedriger Substratdotierung in seiner einfachsten Form als Einfach-OEP mit einem Strahlungseingang bzw. optischen Eingang, der sensitiven Fläche  $PF$  für eine Signalwelle  $P(t)$  und mit zwei elektrischen Eingängen, den zwei Gruppen von Modulationssignalen bzw. dem Modulationsspannungspaar  $UMa1$ ,  $UMb1$ , und einem Ausgangssignal, dem Auslesestrom  $IA$ , mittels Steuerung durch drei abgestimmte Modulationsspannungsspannungszustände drei zugehörige Auslesestromzustände liefert, einen ersten Modulationszustand  $MZP$  ( $UMaP$ ,  $UMbP$ ) mit positivem, bzw. maximalem Auslesestrom  $IAP$ , einen zweiten Modulationszustand  $MZN$  ( $UMaN$ ,  $UMbN$ ) mit negativem, bzw. minimalem Auslesestrom  $IAN$  und einen dritten Modulationszustand  $MZ0$  ( $UMa0$ ,  $UMb0$ ) mit verschwindendem Auslesestrom  $IA0=0$ .

**5. Verfahren nach Anspruch 1 bis 4, bei dem**

ein Opto-Elektronischer Prozessor OEP in mindestens zwei Teil-OEPs, also mindestens in OEP1 und OEP2 bzw. gleicher Größe und Form aufgeteilt ist, wobei jedes Teil-OEP von jeweils einer eigenen Signalwelle mindestens  $P1$  und  $P2$

bestrahlt wird, wobei jedes Teil-OEP, von je einem eigenen Modulationsspannungspaar  $UMa1$ ,  $UMb1$  bzw.  $UMa2$ ,  $UMb2$  moduliert wird, dass von einer Modulationsquelle MQ über die Modulationsklemmen  $MKa1$ ,  $MKb1$  und  $MKa2$ ,  $MKb2$  an die zugehörigen Modulationselektrodenpaaren  $Ma1$ ,  $Mb1$  sowie  $Ma2$ ,  $Mb2$  gelegt wird, wobei die zugehörigen Ausleseströme  $IA1$  und  $IA2$  die Verknüpfung der jeweiligen Signalwelle mit dem Spannungspaar darstellen, und wobei die Verknüpfungsergebnisse  $IA1$  und  $IA2$  weiteren Signal verarbeitenden und auswertenden Prozessschritten unterzogen werden.

**6. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 – 5**, bei dem die streifenförmigen Modulations- und Ausleseelektroden des OEP durch Metallelektroden als Schottky-Kontakte vzw. der Breite von  $0,1 - 5\mu m$  auf sensitivem, der Signalwelle angepassten Halbleitersubstrat 3, vzw. einem hochohmigen ( $p^-$ ) oder ( $n^-$ )-Substrat oder einer hochohmigen ( $p^-$ ) oder ( $n^-$ )-Epitaxieschicht vzw. mit Zwischenräumen etwa der gleichen bis mehrfachen Breite und vzw. einer an die Eindringtiefe der Signalwelle angepassten Dicke realisiert werden, wobei das Substrat 3 vzw. auf freiem Potential (Floating Substrate) liegt.

**7. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1-6**, bei dem die streifenförmigen Modulationselektroden M und Ausleseelektroden A durch ( $n^+$ ) - bzw. ( $p^+$ ) -Streifen bzw. -Kanäle z.B. der Breite im ca.  $0,1 - 5\mu m$ -Bereich auf sensitivem, der Signalwelle angepassten Halbleitersubstrat 3 bzw. der Epitaxieschicht 3, vzw. ein eigenleitendes bis hochohmiges ( $p^-$ ) bzw. ( $n^-$ )-Substrat, das vzw. mit den Streifenelektroden sperrende PN-Übergänge mit tief ausgedehnter Raumladungszone bildet und vzw. mit Zwischenräumen etwa der gleichen bis mehrfachen Breite realisiert werden, wobei die Modulations- bzw. Ausleseelektroden vzw. durch Metallelektroden ME geeigneter Breite für die Abschirmung im Elektrodenbereich gegen Signalwellen bzw. zur Erzeugung eines wirksamen Modulationsfeldes im sensitiven Bereich zur Richtungsmodulation der generierten Ladungsträger abgedeckt sind.

**8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 7** bei dem die jeweils die Elektroden M und A abschirmenden Metallelektroden ME unmittelbar

elektrisch konvektiv oder kapazitiv über einen Spannungs-Offset mit den zugehörigen Ausleseelektroden verbunden sind.

**9. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der vorangehenden Ansprüche bei dem**

eine OEP-Fingerstruktur mindestens ein Zweifach-OEP bildet und für die Prozessierung von mindestens 2 Paaren von Modulationssignalen (UMa1, UMb1) und (UMa2, UMb2) mit einer Signalwelle  $P(t)$  regelmäßig in die mindestens 2 Gruppen aufgeteilt ist mit Ma1, A1, Mb1, A1 usw. mit dazwischen liegenden sensitiven streifenförmigen Flächen  $\Delta PA1$  als Gruppe 1 bzw. OEP1 und mit Ma2,  $\Delta PF2$ , A2,  $\Delta PF2$ , Mb2,  $\Delta PF2$ , A2 usw. als Gruppe 2 bzw. OEP2, wobei innerhalb des OEPs die Gruppen weiter unterteilt und weiter verschachtelt sein können, wobei die Signalwelle auf die mindestens zwei Gruppen möglichst gleich verteilt ist und wobei eine vorgegebene sensitive Fläche PF eines OEP oder Teil-OEP durch Hochfrequenz optimierte Ausführung einer hinreichenden Anzahl und einer hinreichenden Länge der Streifen bzw. Finger erzielt wird.

**10. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 9, bei dem** die mindestens zwei Ausleseströme IA1 und IA2 in einer Verknüpfungs- und Ausleseseinheit VAEH analog oder digital verknüpft werden.

**11. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 10, bei dem** die Verknüpfung in einer Zusammenschaltung der mindestens zwei Ausleseströme IA1 und IA2 in einer Summation bzw. in einem sog. Wired-OR durch einfache Verbindung der zugehörigen Ausleseklemmen AK1 und AK2 durchgeführt wird.

**12. Verfahren nach Anspruch 1 bis 11, bei dem** die Modulationsquelle MQ über mindestens einen Eingang ANK wahlweise so umgeschaltet wird, dass eine geradzahlige Zahl von mindestens 2 Gruppen eines mindestens Zweifach-OEPs, auf die sich die Signalwelle  $P(t)$  bzw. gleichmäßig aufteilt, durch eine erste Spannungscombination, bezeichnet als Modulationszustand MZP (UMa1P, UMb1P, UMa2P, UMb2P), die positiven Gruppenströme, bzw. die Teil-OEP-Ströme IA1 und IA2 bewirken, die einzeln jeweils  $P(t)/2$  bzw. in der Summe  $P(t)$  durch  $IA_S = IA1P + IA2P$  repräsentieren, und dass durch einen zweiten

Modulationszustand MZN ( $UMa1_N, UMa1_N, UMa2_N, UMa2_N$ ) die negativen Gruppenströme bzw. die Teil-OEP-Ströme  $IA1N$  und  $IA2N$  bewirken, die jeweils  $P(t)/2$  und in der Summe  $P(t)$  durch  $IA_S = IA1N + IA2N = -IA1P - IA2P$  repräsentieren, und dass durch einen dritten Modulationszustand MZO ( $UMa1_O, UMa1_O, UMa2_O, UMa2_O$ ) eine Hälfte der Teil-OEPs im Modulationszustand MZP und die andere Hälfte der Teil-OEPs im Modulationszustand MZN betrieben wird, so dass der Gesamtauslesestrom mit  $IA_S = IA1P + IA2N = IA1N + IA2P = 0$  ergibt.

**13. Verfahren nach Anspruch 1 bis 12, bei dem**

Unsymmetrien im Aufbau der Fingerstruktur und entsprechende Abweichungen von den idealen Modulationszuständen insbesondere für MZO mit Hilfe entsprechender Messungen ermittelt und durch kleine Korrekturen der Schaltungsauslegung und der Spannungen der Modulationszustände MZP, MZN und MZO in einem Rückkopplungsprozess, in den auch Teile der Fingerstruktur einbezogen werden können, eliminiert werden.

**14. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 bis 13, bei dem**

Zweifach- und/oder Mehrfach-OEPs in einem komplexen OEP-System als einem optoelektronischen Mikrosystem mit einer Mehrzahl optischer und elektronischer Eingangssignale und einer Mehrzahl elektrischer Ausgangssignale, die teilweise in optische Ausgangssignale umgesetzt werden, integriert und zusammen geschaltet werden.

**15. Verfahren nach Anspruch 12 bis 14, bei dem**

von einem Mehrfach-OEP-System maximal so viele Signalwellen und Modulationsspannungspaare verknüpft und prozessiert werden wie Teil-OEPs vorhanden sind.

**16. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem**

eine Integration des Auslesestroms  $IAS$  erfolgt und bei dem eine Nullschaltung des integrierten Auslesestroms bzw. der Ausleseladung  $QS$  dadurch erfolgt, dass vzw. nach vorangehender Nullschaltung der Ladung  $QS$  eine hochfrequente symmetrische Umschaltung der beiden Modulationszustände MZP und MZN erfolgt.

**17. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mindestens einem der folgenden, bei dem**

die Ausleseereinheit AEH des Einfach-OEP bzw. die Verknüpfungs- und Ausleseereinheit VAEH des Mehrfach-OEP eingangsseitig als niederohmige Stromausleseschaltung ausgeführt ist.

**18. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 17, bei dem**

die Stromausleseschaltung der Teil-OEPs einzeln oder gruppenweise als direkte Stromsummierung entsprechend dem Wired-OR-Prinzip, bzw. mit nachfolgend einfachem Millerintegrator für Korrelationsanwendungen, ausgeführt ist oder bei dem z.B. zwei Teil-OEPs durch einen Differenz-Millerintegrator ausgelesen werden, wobei die Polarität der Modulationsspannungen für die Modulationszustände MZP (positiv/negativ), MZN (negativ/positiv) und MZO (beide positiv oder beide negativ) gegenüber der Wired-OR-Summation berücksichtigt wird.

**19. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mindestens einem der folgenden, bei dem**

die Ausleseelektroden als Doppelstreifen unter Berücksichtigung der Modulationssymmetrie der Modulationszustände MZP, MZN und MZO durch geeignete Auslegung deren Geometrie und Modulationsspannungen ausgeführt sind.

**20. Verfahren nach Anspruch 1 und mindestens einem der folgenden, bei dem**

die OEP-Streifenstrukturen Avalanche-Halbleiterstrukturen aufweisen, Ionisierungseffekte schneller Elektronen nutzen oder mit Elektronenvervielfachern verbunden sind, bei dem insbesondere die durch die Signalwelle erzeugten Ladungsträger bzw. die Ausleseströme durch Vervielfachung verstärkt werden, zum einen durch den Avalanche-Effekt durch geeignet vorgespannte pn-bzw. Schottky-Übergänge im Halbleitersubstrat, wobei die Modulationsspannungen bzw. in der Amplitude geregelt werden, weiterhin durch Vorschalten einer Photokathode und durch Sekundärelektronenvervielfachung der Photoelektronen im Vakuum mittels Mikrokanalplatten oder Photovervielfachern, wobei entweder das Elektronenabbild zunächst in ein optisches Bild zurück gewandelt wird oder direkt durch die OEP-Struktur ausgelesen wird, wobei im

letzteren Fall die Sekundär-Photoeffekte der hochenergetischen Elektronen im OEP-Substrat eine erhebliche Ladungsträgervervielfachung genutzt wird

**21. Verfahren nach Anspruch 20, bei dem**

die Photoelektronen der Photokathode ohne Einsatz einer Mikrokanalplatte unmittelbar auf die OEP-Oberfläche hin abbildend beschleunigt werden und durch Ionisierung und Ladungsträgergeneratoren eine hohe, über die Beschleunigungsspannung einfach regelbare Verstärkung ermöglichen.

**22. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mindestens einem der folgenden, bei dem**

die OEP-Struktur in ME-pn-Technologie oder in Schottky-Technologie mit einem dem Wellenlängenbereich der Signalwelle angepassten Halbleitersubstrat 3, z.B. in Si, bzw. in CMOS-Technologie, GeSi-Quantum-Well-Strukturen, GaAs, InGaAsP, InSb, HgCdTe usw. als bzw. hochohmiges n-Substrat oder als p-Substrat ausgeführt ist.

**23. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder mindestens einem der folgenden, bei dem das kapazitive Übersprechen eines**

hochfrequenten Modulationssignals von den Modulationselektroden auf die Ausleseelektroden und auf die Ausleklemme AK durch eine entsprechende kapazitive Kompensation mit einer entsprechenden Gegentaktspannung unterdrückt wird.

**24. Vorrichtung nach Anspruch 6 und mindestens einer der folgenden, bei dem**

vier Einfach-OEPs oder zwei ZweifachOEPs ein regelmäßiges Vierfach-OEP mit vier eigenen Modulationssignalpaaren (UM1a, UM1b), (UM2a,UM2b), (UM3a, UM3b), und (UM4a, UM4b) und mit vier eigenen Ausgängen A1 bis A4 und den Ausleseströmen IA1 bis IA4 bzw. in Quadratform oder in Kreisform mit gleich großen Quadranten 1 – 4 bzw. Sektoren 1 – 4.

**25. Verfahren nach Anspruch 1 oder mindestens einem der folgenden zum**

Betreiben der Vorrichtung nach Anspruch 24, bei dem das **Vierfach-OEP** wahlweise analog oder digital in einer ersten Betriebsart betrieben wird, bei der eine Signalwelle P gleichmäßig auf alle vier Teil-OEPs 1 bis 4 verteilt ist

und die Auswertung des wahlweise im Einfach-OEP-Modus durch ein gemeinsames Modulationssignalpaar und eine zugehörige gemeinsame Stromauslese erfolgt oder wahlweise im Zweifach-OEP-Modus durch je zwei gleiche bzw. diagonal verteilte Teil-OEPs und je zwei gleiche zugehörige Modulationssignalpaare und eine entsprechend zugehörige Stromauslese erfolgt oder wahlweise im Vierfach-OEP-Modus durch vier einzelne Teil-OEPs und entsprechend zugehörige Modulationssignalpaare und Ausleseströme erfolgt, wobei wahlweise in einer zweiten bzw. dritten Betriebsart auch zwei getrennte Signalwellen P1 und P2 auf je zwei zusammengefasste Teil-OEPs bzw. vier getrennte Signalwellen P1 bis P4 auf je vier Teil-OEPs verteilt sind und entsprechend getrennt ausgewertet werden und wobei durch eine schnelle Umschaltung und positiv oder negativ gewichtete Zusammenschaltung der einzelnen Teilausleseströme Signalwellen ausgewählt, abgetastet, summiert, subtrahiert und durch codiertes schnelles Umschalten der Modulationsspannungspaare zwischen den Modulationszuständen MZP und MZN gemischt oder decodiert und einer weiteren Verknüpfung und Auswertung unterzogen werden können.

**26. Vorrichtung nach Anspruch 25, bei dem**

die am Beispiel des Vierfach-OEP aufgeführten Verfahrensansprüche auf eine OEP-Matrix unbegrenzter Größe erweitert werden.

**27. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und mindestens einer der folgenden, bei dem**

eine Ausleseelektrodengruppe z.B. an der Ausleseklammer AK eine Kapazität CA gegen Masse aufweist und bzw. an einen Transimpedanzverstärker angeschlossen ist, mit einer ohmschen Transimpedanz für Logik- und Mischanwendungen und einer kapazitiven Transimpedanz für Korrelationsanwendungen, wobei die letztere Schaltung mindestens einen Resetschalter aufweist, und wobei bzw. die gleiche Klemme AK über eine geeignete Kapazität CK zur Kompensation des Übersprechens der Modulationselektroden auf die Ausleseelektroden an eine zur jeweiligen Modulationsspannung komplementäre Spannung angeschlossen ist.

**28. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und mindestens einem der folgenden, bei dem**



das OEP-System neben der Reihenfolge der verbundenen jeweils mindestens einmal vorhandenen Schaltungsblöcke von der Signalquelle SQ über die Modulationsquelle MQ, dem optoelektronisch verknüpfenden und verarbeitenden Einfach- bis Mehrfach-OEP, der einfachen bzw. verknüpfenden Ausleseseinheit AEH bzw. VAEH, dem Signal- und Datenverarbeitungssystem SDV bis zum Aktoriksystem ASY ein bzw. mit allen Blöcken bzw. bidirektional verbundene Steuerungseinheit ST aufweist.

**29. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und mindestens einer der folgenden, bei dem**

die Signalquelle SQ eine modulierbare Quelle elektromagnetischer Strahlung ist, die in einem bzw. schmalen Spektralbereich modulierte elektromagnetische Wellen aus dem Spektrum vom Bereich der Mikrowellen bis hin zum fernen Infrarot emittiert und bzw. mit der Modulationsquelle MQ verbunden ist, wobei die Signale beider Quellen in bestimmter Beziehung zueinander stehen, die z.B. durch die Steuereinheit ST steuerbar ist.

**30. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 und mindestens einer der folgenden, bei dem**

die OEP-Strukturen mit antireflektiven Beschichtungen und bzw. unter Berücksichtigung der Teil-OEPs mit Mikrollinsen versehen sind und die Signalquelle SQ und die OEP-Empfangseinrichtung jeweils mit einer geeigneten Optik versehen sind.

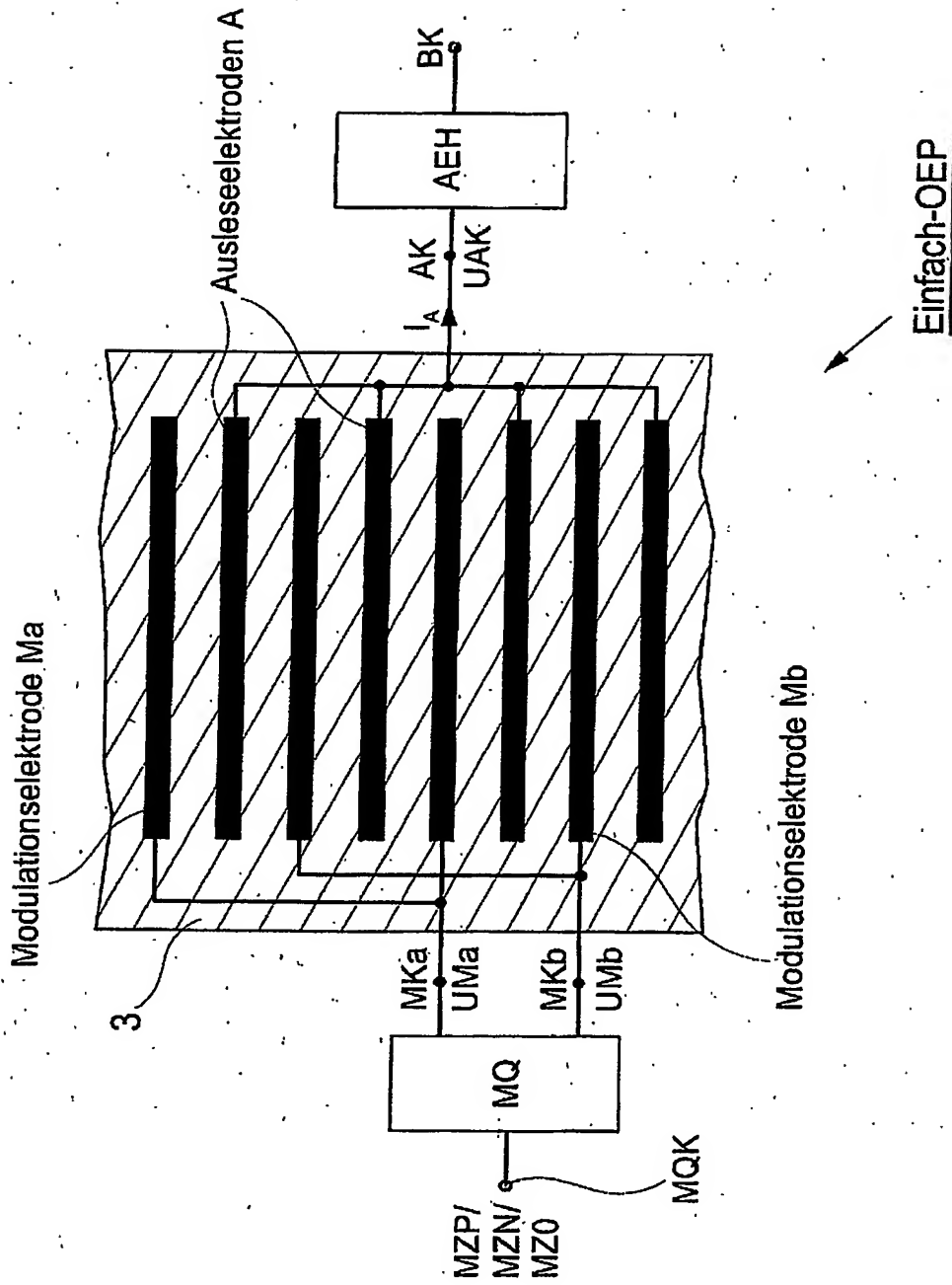
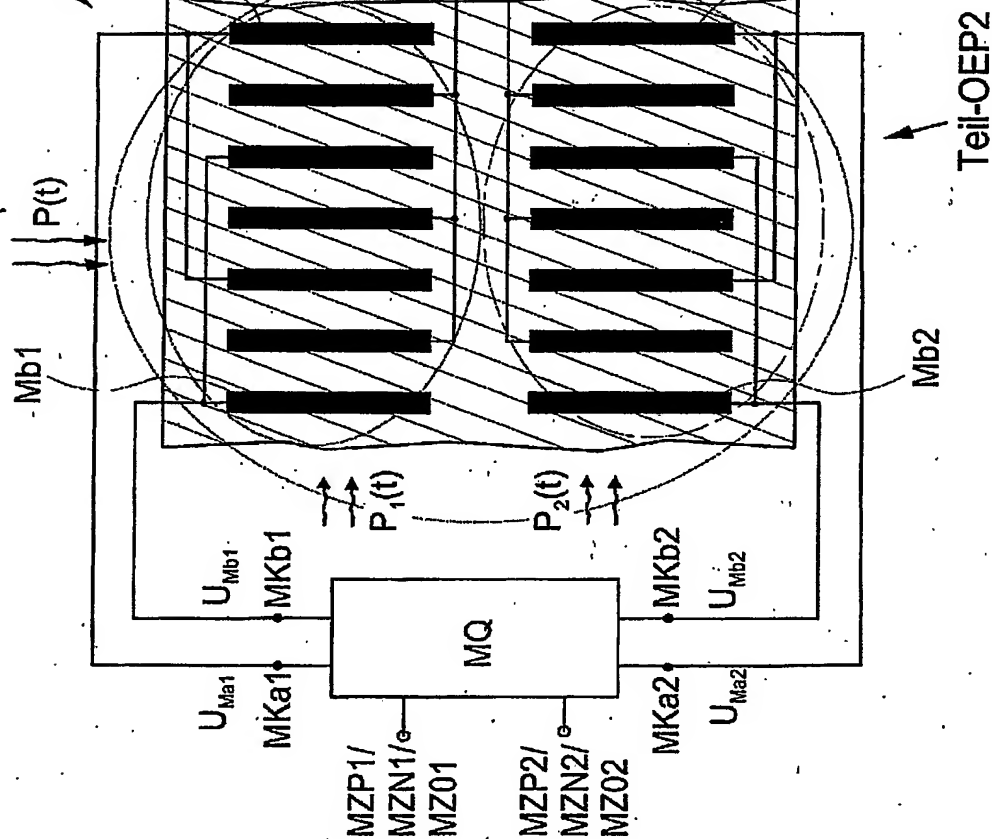


Fig. 1

Teil-OEP1



Zweifach-OEP

Fig. 2

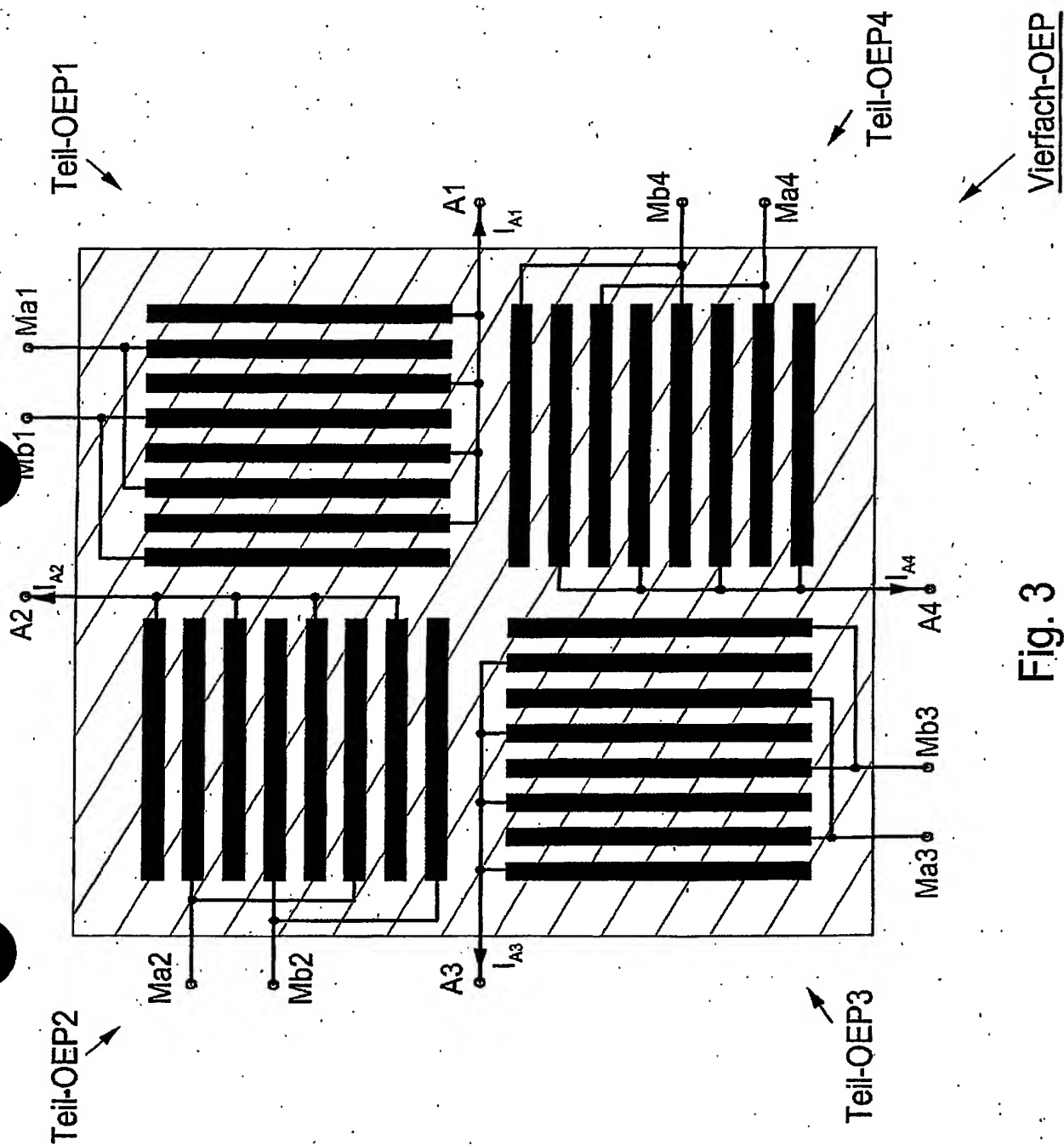


Fig. 3

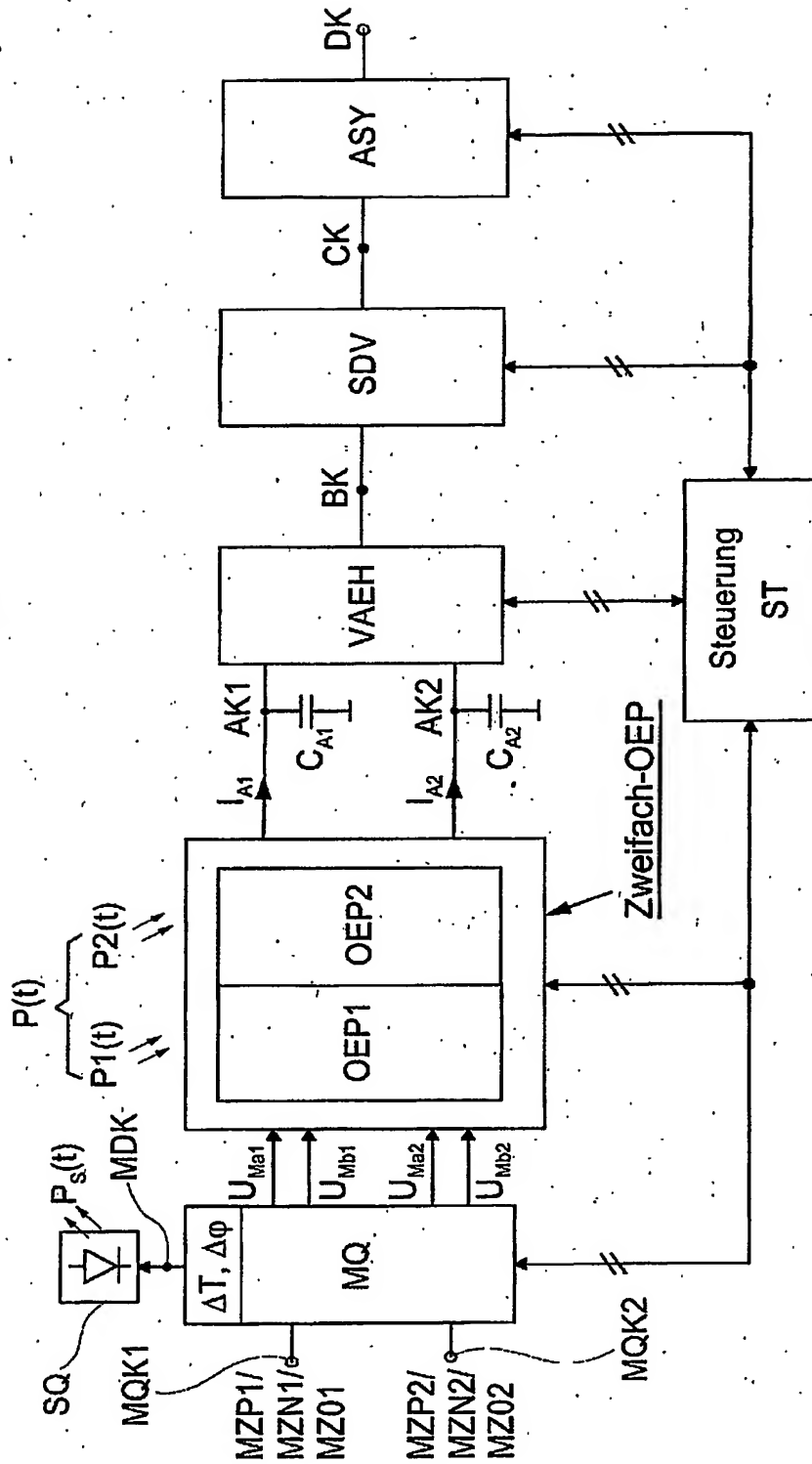


Fig. 4

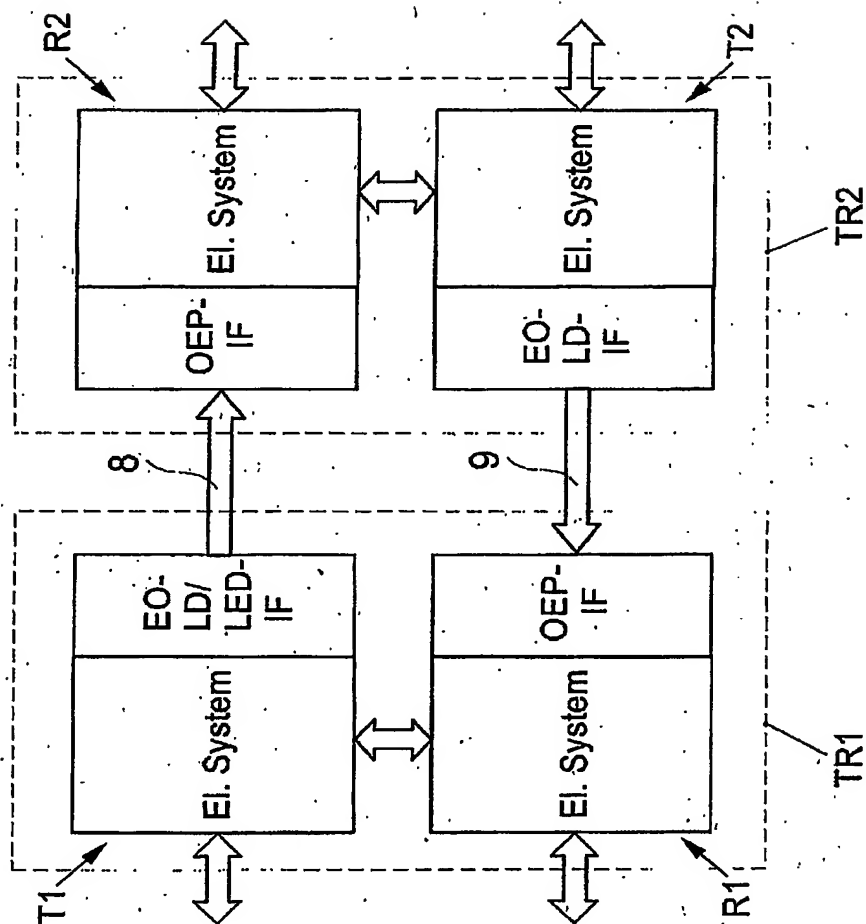


Fig. 5

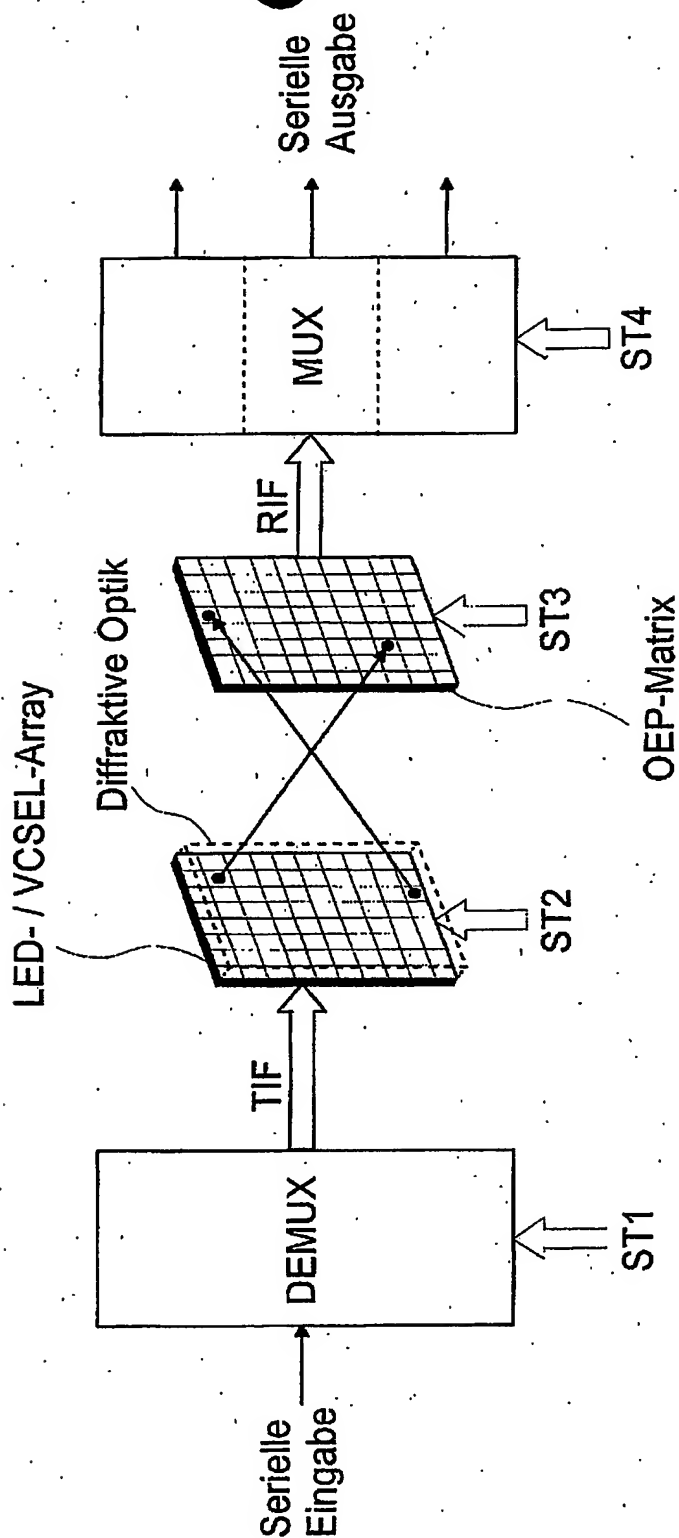


Fig. 6

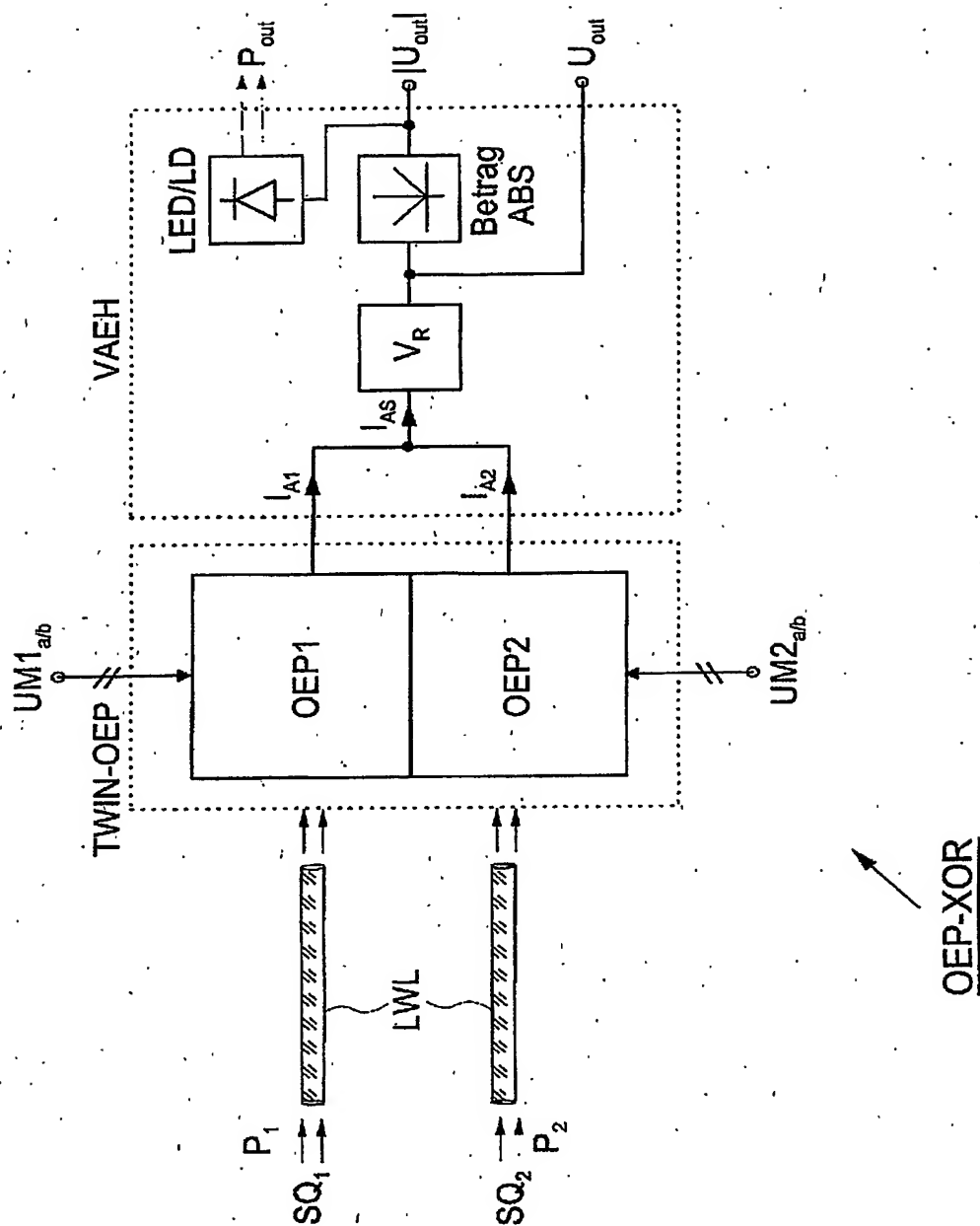


Fig. 7



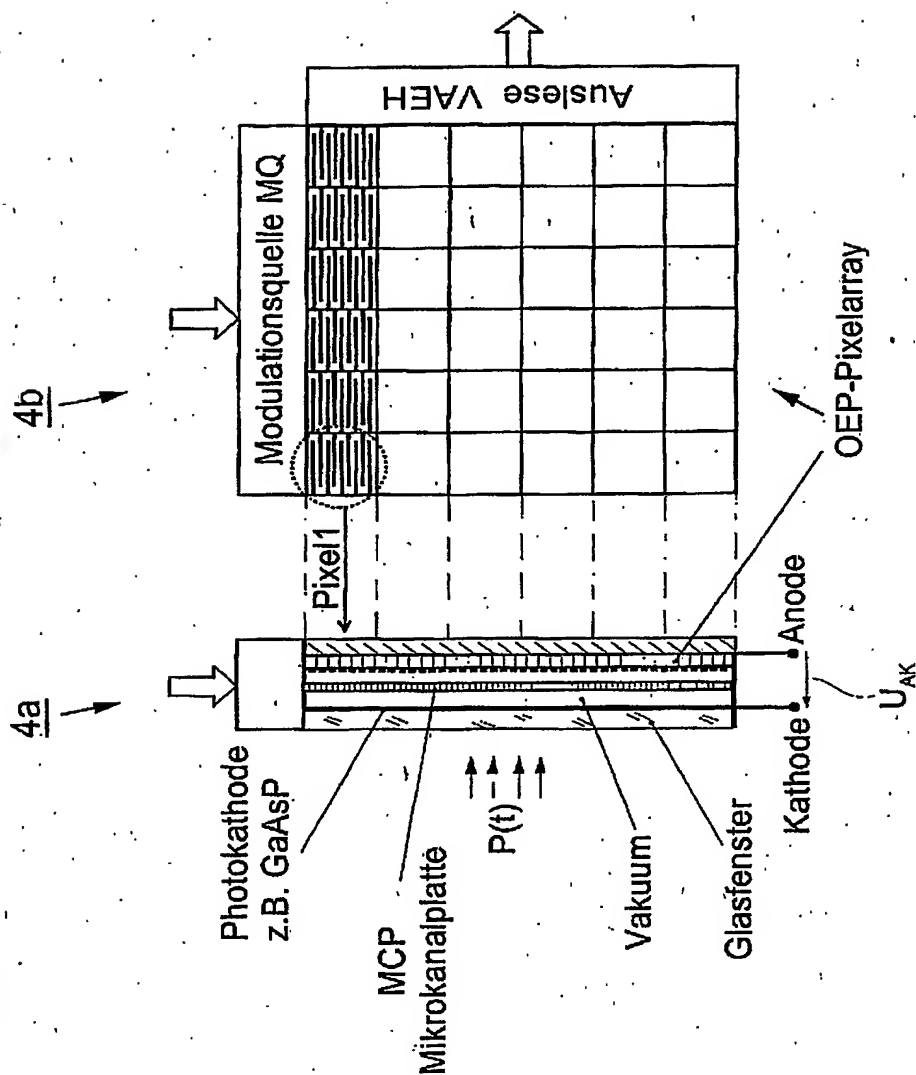


Fig. 8

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**